Über
Ermüdung des Ohres.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Hohen philosophischen Fakultät der Königlichen
Universität Marburg

vorgelegt von

Emil Schäfer

aus Elberfeld.

Marburg i. H.
Buchdruckerei Chr. Schaaf
1911.

Angenommen von der philosophischen Fakultät am 26. Juli 1911.
Berichterstatter: Herr Prof. Dr. Fr. Richarz.
Gutachter: Herr Prof. Dr. F. A. Schulze.

Meinem lieben Freunde

Herrn Direktor Dr. O. Wiarda

gewidmet.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41556035_0031

Inhalts-Übersicht.

Einleitung.

§ 1. Die Veranlassung zur vorliegenden Untersuchung . . Seite 7.

I. Historisch-kritische Beleuchtung des Problems.

§ 2. Zusammenstellung früherer Untersuchungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Ermüdung des Ohres und kritische Stellungnahme dazu . . . . Seite 9.

II. Die eigenen Untersuchungen.

1. Die Versuchsapparate.

§ 3. Die Stimmgabeln . . . . . Seite 25.
§ 4. Die Monochorde . . . . . „ 26.
§ 5. Die Galtonpfeife . . . . . „ 32.
§ 6. Das der Zeitmessung dienende Pendel . . . . . „ 36.

2. Versuche über Ermüdungserscheinungen beim Ohre, die auf psychologische Ursachen schließen lassen.

§ 7. Beschreibung des Grundversuches. . . . . Seite 39.
§ 8. Schwierigkeiten gegenüber einer anatomisch-physiologischen Begründung des Phänomens . . . . . „ 44.
§ 9. Psychologische Erklärung der Erscheinungen des Grundversuches . . . . . „ 51.

3. Eigentliche Ermüdungserscheinungen beim Ohre.

§ 10. Die Versuche. Die Verlängerung der Hörbarkeitsdauer einer Stimmgabel durch Einwirkung einer gleichzeitigen anderen Tonquelle . . . . . Seite 68.
§ 11. Zur Begründung dieser Erscheinung . . . . . „ 74.

III. Kurze Zusammenstellung der Resultate.

§ 12. Die experimentell-psychologischen und physiologischen Ergebnisse der eigenen Untersuchungen . . . . . Seite 85.

Einleitung.

§ 1. Die Veranlassung zur vorliegenden Untersuchung.

Die vorliegende Arbeit verdankt ihre Entstehung der Beobachtung einer eigenartigen Störung in der Perzeption von Schallempfindungen, die sich einer ersten Beurteilung als eine Ermüdungserscheinung des Ohres zu erkennen gab. Herr Professor F. A. Schulze, der dies Phänomen zuerst feststellte, macht darüber in den Sitzungsberichten der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg folgende Mitteilung:

Ermüdung des Ohres.[1])

Über die Ermüdungserscheinungen des Ohres für Tonempfindungen ist bisher noch verhältnismäßig wenig bekannt,[2]) namentlich fehlt es hier noch sehr an quantitativen Versuchen. Gelegentlich anderer Untersuchungen, Bestimmung des Elastizitätsmoduls gespannter Drähte mittels Longitudinalschwingungen, bemerkte ich folgendes: Ein beiderseits festgeklemmter, gespannter Draht wurde durch Anreiben mit einem mit Kolophonium bestrichenen Lappen in kräftige Longitudinalschwingungen versetzt. Gleichzeitig möge noch eine in der Nähe befindliche Stimmgabel schwach angeschlagen werden.

---

[1]) Nr. 5. 4. Aug. 1910. pag. 76.

[2]) Siehe hierzu den Artikel „Akustik" in Nagels Handbuch der Physiologie, Band III, bearbeitet von K. L. Schaefer.

Läßt man nun, während die Stimmgabel tönt, den schrillen Longitudinalton durch Anhalten des reibenden Lappens plötzlich aufhören und horcht auf den Stimmgabelton, so ist dieser selbst bei gespanntester Aufmerksamkeit eine kurze Zeit lang, etwa $^1/_{10}$ Sekunde, völlig unhörbar. Er steigt darnach in der Intensität sehr schnell an und wird dann in normaler Weise weiter gehört. Die Zeit, die zwischen dem plötzlichen Aufhören des Longitudinaltons und dem Wiederempfinden des Stimmgabeltones verstreicht, ist um so länger, je schwächer dieser an und für sich bereits war. Man kann diese Erscheinung wohl nur als Ermüdung des Ohres auffassen. Da es mir scheint, daß hier quantitative Gesetzmäßigkeiten feststellbar sind, habe ich Herrn cand. E. Schäfer veranlaßt, die Erscheinung weiter zu untersuchen, der zur Zeit diese Versuche in dem psychophysischen Kabinett hier anstellt. Es erheben sich hier ja offenbar eine große Anzahl interessanter Fragen, z. B. die Abhängigkeit von der absoluten Tonhöhe beider Töne, von ihrem Intervall, ob die Ermüdung bei unisono besonders stark ist, wie sie von der Dauer der Einwirkung des ersten Tones abhängt u. s. w.“

I. Historisch-kritische Beleuchtung des Problems.[1])

§ 2. Zusammenstellung früherer Untersuchungen und Beobachtungen auf dem Gebiete der Ermüdung des Ohres und kritische Stellungnahme dazu.

Es ist eine vielfach beobachtete Erscheinung, daß ein kontinuierlicher oder gleichmäßig intermittierender Schallreiz, der längere Zeit auf unser Ohr einwirkt, nach einer Weile nicht mehr perzipiert wird. In der überwiegenden Mehrzahl der Fälle hat man versucht, derartige Erscheinungen mit einer Ermüdung des Hörnerven zu erklären. Folgende Beispiele jedoch zeigen, daß dies im allgemeinen nicht richtig ist.

Der Müller kann bei dem lauten, aber monotonen Klappern der Mühle einschlafen; er wird jedoch wach, wenn das Räderwerk stehen bleibt. In ähnlicher Weise überhören wir die fortgesetzt in der Nähe tickende Uhr, wenn sich unsere Gedanken mit anderen Dingen beschäftigen und bemerken meistens sofort, wenn dieses doch sehr schwache Geräusch plötzlich aufhört.

In den beiden hier angeführten Tatsachen stellt sich fast regelmäßig bei dem Beobachter das Urteil ein, daß ein Schallreiz aufgehört habe, auf unser Ohr zu wirken. Ein solches Urteil ist aber unmöglich, wenn vor dem Aufhören des Geräusches keine Empfindung vorhanden gewesen wäre. Für eine Ermüdung oder wirkliche Betäubung des

[1]) Vgl. Nagels Handbuch der Physiologie, Bd. III. pag. 509.

Hörnerven scheinen also derartige Fälle nicht zu sprechen. Wenn es uns demnach hier nicht gelingen will, die Ursachen solcher Phänomene auf physiologischem Gebiete nachzuweisen, erscheint es geboten, diese in psychologischen Funktionen zu vermuten.

Auf die Klarheit und Deutlichkeit der in unserer Seele sich abspielenden Vorgänge ist die Aufmerksamkeit als eigener ursachlicher Faktor von Ausschlag gebender Bedeutung. Man versteht unter Aufmerksamkeit solche Prozesse des Seelenlebens, durch die wir imstande sind, jedes Erlebnis für sich aufzufassen und aus der Gesamtheit der übrigen herauszuheben. Diese Fähigkeit unseres Bewußtseins ist nun verschiedenen Umständen entsprechend von ungleicher Stärke. So stellt sich fast regelmäßig ein Schwinden der Aufmerksamkeit konstanten Empfindungen gegenüber ein, die dadurch sogar vollständig unbewußt werden können. Außer dem schon erwähnten Beispiel der tickenden Uhr bietet uns das Überhören des diffusen Tagesgeräusches eine hierher gehörende Erscheinung. In der Überhörung äußerst minimaler uns dauernd umgebender Geräusche besitzen wir eine derartige Übung, daß wir selbst bei gespannter Aufmerksamkeit manchmal der festen Überzeugung sind, es herrsche absolute Stille. Daß wir aber auch noch in solchen Fällen allerdings äußerst schwache Schallempfindungen haben müssen, wird uns durch das einstimmige Urteil der Luftschiffer bestätigt, die in bedeutenden Höhen über dem Erdboden eine nie zuvor gekannte Stille wahrgenommen haben, die sich von jeder an der Erde beobachteten noch merklich unterschied. Daraus geht hervor, daß wir das Vorhandensein von sehr schwachen aber doch noch überschwelligen Gehörsempfindungen nachweisen können, wenn es uns gelingt, die erzeugende Schallquelle aufzuheben, ein Umstand, der mir bei der Entscheidung einer sehr wichtigen Frage in meinen eigenen Untersuchungen wertvolle Dienste geleistet hat.

Aber auch bei größeren Schallintensitäten ist der Nachweis einer Ermüdung des Hörnerven außerordentlich schwierig. Wenn es uns gelingt, auf einen Ton fortgesetzt zu achten, so können wir ihn eine halbe Stunde und länger hören, ohne eine Verminderung seiner Intensität zu bemerken. Fände dabei wirklich eine Ermüdung des Ohres statt, so wäre diese so unbedeutend, daß sie von uns nicht beobachtet werden könnte.

In dem Bericht über die Verhandlungen der Königlich Sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig[1]) finden wir folgende Angaben von Dr. J. J. Müller. „Durch vorangehende Ermüdung derjenigen Sehnervenfasern, welche außer der Grundfaser noch in geringem Maße von einer Ätherschwingung erregt werden, kann die durch die letztere hervorgerufene Farbe noch eine größere Sättigung gewinnen, als selbst die Farben im Spektrum besitzen. Dementsprechend muß sich durch vorangehende Ermüdung derjenigen Fasern des Hörnerven, welche die harmonischen Obertöne liefern, die durch die einfache Schwingung hervorgerufene Tonempfindung noch eine leerere Klangfarbe annehmen, als diese Töne sonst haben. Der Versuch kann bei den beiden Hörnerven ganz ebenso angestellt werden, wie auf 2 Stellen der Netzhaut, vorausgesetzt, daß die beiden Gehörorgane gleiche Empfindungen liefern. Es werden durch längere Einwirkung objektiver Schwingungen die Fasern der harmonischen Obertöne in dem einen Ohre ermüdet und hierauf der Grundton jener Schwingungen abwechselnd auf dem ermüdeten und nicht ermüdeten Ohre verglichen. Während die zuerst verwendeten Obertöne ganz vorteilhaft harmonisch zusammengesetzte Klänge sein können, darf der Grundton harmonische Oberschwingungen nicht enthalten. Die Stimmgabeln besitzen bekanntlich hohe und unharmonische Obertöne. Hat man daher eine Reihe von Gabeln mit den Schwingungen n, 2n, 3n, welche zugleich die Gabeln

[1]) Mathematisch-physikalische Klasse, Band 23, pag. 117. 1871.

selber bezeichnen sollen, so braucht man nur die Gabeln 2n oder 3n zuerst anhaltend vor das eine Ohr und hierauf die Gabeln successive vor dieses und das nicht ermüdete Ohr zu halten. Diese einfache Versuchsweise eignet sich namentlich für tiefgestimmte Gabeln. Es stand mir ein System zeitmessender Stimmgabeln mit den Schwingungszahlen 60, 120, 180 zu Gebote; mit diesen stellte ich die ersten Beobachtungen in der angedeuteten Weise an. Der Grundton war in dem ermüdeten Ohr deutlich weicher, leerer und etwas schwächer als in dem nicht ermüdeten." Das hier angeführte Beobachtungsmaterial ist doch wohl nicht ausreichend, um einen Schluß, wie ihn Dr. J. J. Müller zieht, zu rechtfertigen. Es muß auch noch der Nachweis erbracht werden, daß sich diese Erscheinungen *nur* durch eine periphere Ermüdung, nämlich innerhalb des Organes selbst, gut und ausreichend erklären lassen. Vor allen Dingen vermißt man hier eine systematische Untersuchung der behaupteten Tatsache.

Dasselbe gilt von dem folgenden Versuche *Machs*, den man in den „Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen"[1]) erwähnt findet.

„Die Erschöpfung des Organs durch einen länger anhaltenden Reiz ist auch eine sehr allgemeine Erscheinung, wenngleich die Erklärungen, die man auf diese Erschöpfung gegründet hat, nicht immer ausreichend sein mögen. Wir sehen die Erscheinung deutlich am Tast- und Gesichtssinn. Am Gehörsinn ist sie schwer nachweisbar. Man meint einen konstanten Ton stundenlang in konstanter Intensität zu hören. Doch gibt es Beobachtungen, welche auf eine solche Erschöpfung auch beim Gehörorgan deuten. Klemmt man eine Taste des Harmoniums fest und beobachtet den konstanten Ton durch etwa eine halbe Stunde, so kann man zwar keine allmähliche Abschwächung des Klanges vernehmen, aber ein Oberton

[1]) 1873. pag. 58.

nach dem andern tritt jetzt in voller Deutlichkeit hervor, was sich doch nur aus einer Erschöpfung für jene Partialtöne gut erklären läßt, welchen die Aufmerksamkeit früher zugewendet war."

Mach führt an dieser Stelle einen weiteren Versuch an, den er ebenfalls durch eine Ermüdung des Organs erklärt.

„Führt man im Zimmer mit dem Hammer einen Schlag auf den Tisch aus, so ist der Schall sehr kurz und man meint, bald nach dem Aufschlagen absolute Stille zu vernehmen. Wir können aber das Experiment modificieren. Ein Gehülfe schlägt mit dem Hammer auf den Tisch, während wir mit den Fingern beide Gehörgänge zudrücken. Öffnen wir die Gehörgänge 0,5 bis 1,0 Sekunden nach dem Aufschlagen, so hören wir den Schlag neu entstehen. Wir können nach dem Aufschlagen einigemale die Gehörgänge rasch öffnen und schließen und hören bei jedem Öffnen einen neuen Schlag, der natürlich desto schwächer ausfällt, je später das Öffnen nach dem Aufschlagen erfolgt. Dies erklärt sich aus dem im Zimmer fortbestehenden allmählich abnehmenden Schallvorgang, der nur von dem nicht ermüdeten Organe bemerkt wird oder wenn das Organ kurze Zeit Gelegenheit hatte, sich zu erholen."

Auch dieser Versuch Machs läßt sich doch ebensogut durch psychologische Vorgänge deuten. Im Bewußtsein tritt der objektive Nachhall im Zimmer, der selbst bei sehr schneller Abnahme der Intensität kurze Zeit noch über der Reizschwelle verbleiben muß und dann auch zur Empfindung kommt, gegenüber dem überaus heftigen, ersten Eindruck zurück. Man kann sich eben schlecht von dem einmal gefaßten Gedanken trennen, daß bei solchen Störungen in der Perzeption des Ohres in erster Linie physiologische Ursachen wirksam sind.

In demselben Sinne äußert sich K. L. Schaefer in Nagels Handbuch der Physiologie.[1])

[1]) Bd. 3, pag. 510.

„Ebenso erscheint es mir wenig wahrscheinlich, daß das Gehörorgan durch so kurze und schwache Erregungen, wie verklingende Stimmgabeln sie hervorrufen, zu ermüden sein sollte. In dieser Beziehung ist in der otiatrischen Literatur wiederholt darauf aufmerksam gemacht worden, daß, wenn eine auf den Warzenfortsatz aufgesetzte Stimmgabel für das betreffende Ohr verklungen ist, der Ton nach Abnehmen und Wiederaufsetzen der Gabel auf dieselbe Stelle von der Versuchsperson aufs neue und so noch eventuell mehrmals deutlich gehört wird. Corradi[1]), der sich besonders mit diesem Gegenstande beschäftigt und die eigentümliche Erscheinung nicht nur bei Ohrenkranken, sondern auch bei Gesunden nicht selten gefunden hat, sucht dieselbe damit zu begründen, daß der Hörnerv sich eben von Zeit zu Zeit ausruhen müsse und daß die Ursache ohne Zweifel in den anatomischen und physiologischen Verhältnissen liege. Bei einigen an mir und von mir an zwei geschulten Beobachtern angestellten Versuchen ergab sich, daß die Gabel meistens schon nach dem ersten Erlöschen definitiv unhörbar war; nur zuweilen wurde beim zweiten Aufsetzen wieder eine schwache Spur des Tones vernommen. Eine bestimmte Regel ließ sich nicht finden. Doch habe ich den Eindruck gewonnen, als käme das Wiederauftauchen der Empfindungen nur dann vor, wenn beim erstenmal das Urteil „Verklungen" aus irgend welchen Gründen, wie Abschweifen der Aufmerksamkeit, Störung durch andern Schall, Lockerung des Gabelstieles oder dergleichen vorschnell abgegeben ist. Die tieferen Gabeln — höhere verklingen für das in Rede stehende Experiment zu schnell — schwingen relativ lange, und die Abnahme der Amplitude geht um so langsamer vor sich, je mehr die Vibration sich ihrem Ende nähert. So kommt es, daß der Übergang von der für ein normales Ohr eben noch übermerklichen Amplitude zu der eben schon untermerklichen eine gewisse Weile dauert. Wenn nun

[1]) Arch. f. Ohrenheilk. 30, 175. 1890.

schon im Anfange dieser Zeitspanne der Ton für erloschen erklärt wird und das Wiederaufsetzen des Gabelstieles vor dem Ablauf derselben erfolgt, so ist es, zumal bei maximaler Anstrengung der Aufmerksamkeit, begreiflich, daß die Empfindung wieder auftritt. Man braucht darum nicht gleich an Ermüdung und Erholung des Nerven zu denken. Ob und in wie weit diese beiden Faktoren etwa bei pathologischen Zuständen in Betracht kommen, muß hier dahin gestellt bleiben."

Man kann sich von der einmal gezogenen Parallele zwischen Auge und Ohr nicht los machen. Immer wieder tritt die Ansicht hervor, daß sich das Verhalten des Ohres konstanten Eindrücken gegenüber ganz an das des Auges anschließt, dessen Unempfindlichwerden für einen lange gebotenen Farbeneindruck die subjektive komplementäre Färbung einer nachher betrachteten weiße Fläche veranlaßt. Auch H. W. Dove[1]) legte diesen Gedanken den Erscheinungen zu Grunde. Er hielt von zwei unisono tönenden Stimmgabeln die eine vor das rechte, die andere vor das linke Ohr und drehte eine derselben um ihre Achse. „Dabei hörte man nicht ein bloßes Anschwellen und Abnehmen, sondern man glaubt alternierend den Ton mit dem einen und dann mit dem andern Ohre zu hören. Bekanntlich stumpft sich der Eindruck auf das Auge durch Kontinuität in der Weise ab, daß man, wenn es lange eine Farbe gesehen, und nun ihm zwei abwechselnd geboten werden, es sich nur des Eindrucks der zweiten bewußt wird: diesem analog scheint der vorhergehende akustische Versuch zu sein. Das Trommelfell des einen Ohres ist in Schwingungen versetzt, während das des andern noch ruhend erst dieselbe beginnt. Statt einer unmittelbaren Kombination beider Eindrücke werden wir uns des neuen als eines überwiegenden

[1]) Poggendorfs Annalen der Physik, Bd. 101, pag. 492. 1857 und Bd. 107, pag. 652. 1859.

bewußt, obgleich die Intensität beider Erregungen dieselbe ist."

Bei der Nachprüfung dieses Versuches benutzte ich zwei verschieden schnell abklingende Stimmgabeln von gleicher Schwingungszahl. Die schneller vertönende Gabel wurde gedreht. So lange sie die lautere war, blieb der schwebende Ton auf ihrer Seite; er ging aber, sobald die Intensität der ruhenden Stimmgabel überwog, auf das andere Ohr über. Daraus geht hervor, daß wir einen diotisch gehörten Ton stets so lokalisieren, daß wir ihn auf die Seite des stärker erregten Ohres verlegen. Der Versuch Doves läßt sich somit nicht durch eine Ermüdung des Hörnerven erklären.

Rayleigh[1]) machte die Beobachtung, daß sein Ohr schon nach sehr kurzer Zeit für Töne, die der oberen Hörgrenze nahe kommen, ermüdete. Ein sehr hoher, zuerst lauter Ton, verschwand schon nach wenigen Sekunden, tauchte dagegen wieder auf, wenn er seinem Ohre durch Verdecken mit der Hand nur einen Augenblick Gelegenheit gab, sich zu erholen. Auch von verschiedenen anderen Seiten ist öfter die Behauptung ausgesprochen worden, daß nach längerem Anhören der sehr hohen Töne der Galtonpfeife diese nicht mehr vernommen werden, da das Ohr für diese Töne nach längerer Einwirkung schließlich ermüde. Hierzu bemerkt K. L. Schaefer in Nagels Handbuch[2]): „Ich kann diese Angabe nicht bestätigen. Die, freilich nicht unerträglich lauten, sehr hohen Töne der Galtonpfeife bleiben für mich während der ganzen Beobachtungsdauer deutlich. Allerdings bemerke ich dabei unregelmäßige Intensitätsschwankungen und auch einen gelegentlichen Wechsel der Lokalisation, insofern der Ton manchmal rechts, manchmal links erscheint,

[1]) Nature, 56, 285.
[2]) Bd. 3, pag. 511.

oder auch durch den Kopf zieht. Ich glaube aber hierfür Druckschwankungen des anblasenden Luftstromes in erster Linie verantwortlich machen zu sollen. Selbst wenn dieselben nur gering sind, können sie schon gewisse qualitative und quantitative Veränderungen der Galtontöne hervorrufen, von denen die ersteren mit einem Lagewechsel der im Beobachtungsraume sich bildenden Knoten und Bäuche verknüpft sind, was eben das Urteil über Richtung und Entfernung der Schallquelle beeinflußt." Wie mir Herr Professor F. A. Schulze mitteilte, decken sich diese Erfahrungen Schäfers vollkommen mit den seinigen.

E. W. Scripture und Howard F. Smith berühren die Frage der Ermüdung in ihren „Experiments on the highest audible tone". Sie suchten nach einer Erklärung für die auffallende Verschiedenheit in der Bestimmung der oberen Hörgrenze, die zwischen den Schwingungszahlen 6400 und 60000 schwankte. Auf Grund ihrer Versuche gelangten sie zu der Überzeugung, daß bei den wechselnden Angaben für die obere Grenze Ermüdungszustände nicht von Einfluß gewesen sind.

„The values of single sets of experiments showed such irregularity that it can not be said either that fatigue raises the upper limit or lowers it. In similar manner some of the mean variations were compared. The result was the same; it cannot be said that fatigue influences the regularity of judgment. The attempt was made to fatigue the ear directly. After the complete set of experiments was finished with Bishop, the whistle was blown steadily für 45 seconds at 200 mm pressure and then 10 records were taken at that pressure. The change of upper limit was not sufficient to warrant any conclusion. This line of experiment lay somewhat aside from the problem and was not extended".[1])

[1]) Studies from the Yale Psychological Laboratory 2, 112. 1894.

Wenn wir von dem Versuche Machs absehen, in dem auf einen Tisch ein Hammerschlag ausgeführt wurde, so handelte es sich in den bisher erwähnten Untersuchungen immer nur um Töne von geringer oder mittlerer Intensität. Aus keinem dieser Beispiele konnten wir mit Sicherheit und ganz ausschließlich auf eine Ermüdung des Hörnerven schließen. Das ist aber nicht mehr der Fall, wenn Töne von großer Intensität zur Anwendung gelangen. Wir besitzen eine Reihe von Berichten, welche darin übereinstimmen, daß das Ohr infolge Einwirkung eines sehr lauten Tones eine Art Betäubung erleidet. Bei allen solchen Erscheinungen verdient der Umstand besondere Erwähnung, daß sich die Herabsetzung der Hörschärfe, denn so äußert sich ja die Betäubung des Gehörorganes, für den betreffenden Ton und auch nur für diesen einstellt, welcher die Betäubung verursachte. Es ist dies ein weiterer Beweis für die Selbstständigkeit, die jedem einzelnen Tone in unserem Gehör eigen ist und welche der Helmholtzschen Theorie der Schneckenklaviatur zugrunde liegt. Unter den Versuchen mit besonders lauten Tönen will ich die von Professor Silvanus P. Thompson erwähnen.[1])

„The author has tried to produce interference between an objective and a subjektive tone in the following manner: In the spring of the present year, after a violent catarrh he was troublet ad intervalls für several days with a „singing" in the left ear of a shrill note somewhere near d'''. He tried several times to produce a note within beating distance of this, but not having forks for this octave sufficiently near, he did not succeed in the attempt before the ailment vanished. He has however succeeded in another case. After listening for a considerable time to a note that is played very loudly, the ear becomes fatigued

[1]) Philosophical Magazine an Journal of Science; Vol. XII. fith series, 1881; pag. 354.

and hears the note less loudly; but when the note ceases to be played, it is still heard ringing in the ears for a brief moment. Between this transient sound and a real objective note tuned to beat with it, the author has producet beats. He brought the tones to the ears with tubes, one being intolerably loud, the other faint; and arrangements were made by which a single movement opened one pipe and closed the other at the same instant. Beats were heard for about 1 1/2 second after the cessation of the loud sound.

An extremely curious case was mentioned to the author some years ago by an eminent acoustician. A person who was afflicted with mumps on one side of the head heard all the sounds in that ear raised about a semitone, and heard beats accompanying notes in the lower part of the scale. The author inquired some time after of a non-scientific friend who had suffered from a similar attack, wether any thing similar had been noticed, but could only learn that voices and musical notes jungled „like a harmonium out of tune". While trying the above experiments on interference after fatigue, the author noticed an acoustic illusion due to the same origin. Let one ear be fatigued, as before, by listening to a loud pure note. Then let the listener try to estimate the direction of a sound of the same pitch. If his left ear has been fatigued, he will invariably imagine the source of sound to be further to the rigth than it really is and vice versâ. The illusory displacement in the direction of the sound is greater the more complete the fatigue. When one ear was fatigued with a c"- fork no illusory displacement was perceived in an a"-fork. The author has, as yet, only tried these experiments in a room, and with the almost simple tones of tuning-forks. The observations are of interest, however, in the theory of Binaural Audition."

Eine planmäßige Fortsetzung und Erweiterung erfahren die Versuche Thompsons durch Victor Urbantschitsch [1]) in Wien. Er stellte sich bei seinen Untersuchungen über die Ermüdung des Ohres die Aufgabe, den Grad und die Dauer derselben für einen bestimmten Ton zu ermitteln. „Ich bediente mich hierzu zweier Gummischläuche, von denen der eine in das rechte, der andere in das linke Ohr gesteckt wurde und deren beide freie Enden knapp neben einander gehalten waren, um eine rasche vergleichsweise Prüfung der Hörfunktion beider Ohren zu ermöglichen. Als Schallquelle benützte ich die Stimmgabel. Zur Bestimmung der Hörfunktion des Ohres leitete ich den Ton der abklingenden Stimmgabel den beiden mit je einem Hörschlauche versehenen Ohren in rascher Abwechselung zu; im Falle der Ton auf einem Ohr früher verklang als auf dem andern, wurde der Hörschlauch des besser perzipierenden Ohres von der Schallquelle so weit entfernt oder die Schallzuleitung durch eine Einlage in den Schlauch um so viel abgeschwächt, daß der Stimmgabelton an beiden Ohren gleichzeitig abklang. Nachdem auf diese Weise jede durch eine ungleiche Perzeptionsfähigkeit beider Ohren bedingte Fehlerquelle ausgeschlossen war, ging ich nunmehr zur eigentlichen Prüfung über. Eine große, also langsam ausschwingende Stimmgabel wurde stark angeschlagen und an das freie Ende des einen Hörschlauches gehalten, so daß nur das betreffende Ohr den Ton vernahm; nach 10 bis 15 Sekunden wurde die Stimmgabel durch Anlegen eines Fingers an die Zinken rasch abgedämpft, so zwar, daß der Ton eben noch hörbar erschien. Sobald derselbe vollständig verklungen war, näherte ich die Stimmgabel rasch dem Schlauche des andern, von der Prüfung bisher ausgeschlossen gewesenen Ohres. Es ergab sich hierbei, daß der auf dem ermüdeten Ohr bereits verklungene Stimm-

[1]) Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere. Bd. 24. pag. 576. Pflüger 1881.

gabelton auf dem nicht ermüdeten Ohre noch durch mehrere Sekunden deutlich vernehmbar war. Bei Anstellung eines Gegenversuches, bei dem die Rollen beider Ohren verwechselt wurden, trat ganz dieselbe Erscheinung hervor. Ich hatte den Versuch auch in der Weise gemacht, daß die, nach vorausgegangener Ermüdung des Ohres, stark abgedämpfte Stimmgabel von dem einen zum andern Ende der beiden Otoskope rasch hin und her bewegt wurde. Diese Prüfungsmethode ermöglicht es, den Unterschied in der Perzeptionsfähigkeit beider Ohren noch vor dem raschen Verschwinden des Tones auf Seiten des ermüdeten Ohres genauer zu beobachten.

Nachdem ich mittels des eben beschriebenen Verfahrens die Ermüdung des Ohres für den Prüfungston näher bestimmt hatte, suchte ich nunmehr das Verhalten des für einen Ton ermüdeten Ohres gegen einen anderen sehr schwachen Stimmgabelton kennen zu lernen. Die Versuche wurden anfänglich nur mit solchen Individuen vorgenommen, welche sowohl eine zur Prüfung benützte hochklingende als auch eine tiefklingende Stimmgabel mit beiden Ohren gleich gut pezipierten. Ich ermüdete das eine Ohr eines solchen Versuchsindividuums mit dem einen Stimmgabelton, entfernte hierauf diesen und prüfte unmittelbar darauf mit dem andern sehr schwachen Stimmgabelton die Hörfähigkeit beider Ohren. Die Versuche ergaben keinen Gehörunterschied zwischen dem rechten und dem linken Ohr, sondern der zweite Stimmgabelton wurde beiderseits gleich intensiv wahrgenommen und klang auf beiden Ohren gleichzeitig ab. Diese Beobachtung spricht also für die Annahme, daß die Ermüdung des Ohres nur auf jenen Ton oder auf jene Tongruppe beschränkt bleibt, denen unser Ohr ausgesetzt war, wogegen die Perzeptionsfähigkeit des Ohres für andere Töne keine, wenigstens nicht eine mit den von mir angewandten Prüfungsmethoden nachweisbare Beeinträchtigung erfährt. In sehr auffälliger Weise tritt diese Tatsache hervor, wenn man auf das eine Ohr

einen hohen, auf das andere Ohr einen tiefen Stimmgabelton kräftig einwirken läßt, hierauf beide Stimmgabeln rasch abdämpft und in dem Momente als auf jedem Ohre der betreffende Ton verschwunden ist, die Stellung der beiden Stimmgabeln verwechselt. Es zeigt sich hierbei, daß jenes Ohr, welches den hohen Ton nicht mehr vernahm, noch ganz deutlich den tiefen Ton perzipiert, während wieder das andere für den tieferen Ton ermüdete Ohr den hohen Ton noch auffällig gut wahrnimmt".

Die weiteren Versuche, welche Urbantschitsch über diesen Gegenstand anstellte, bringen Angaben über die Ermüdungsdauer. Es ist zu beachten, daß sich alle seine Versuche auf Töne erstrecken, die sich in den letzten Stadien des Verklingens befinden.

„Ich ließ zur Bestimmung der Ermüdungsdauer den einen Ton einer großen Stimmgabel kräftig auf das Ohr einwirken, dämpfte wieder, wie in den vorher angeführten Versuchen, die Stimmgabel rasch ab, hielt sie jedoch auch nach dem Verklingen unbeweglich, um zu erfahren ob der Ton nach einiger Zeit von neuem zur Wahrnehmung gelange oder nicht. Es ergab sich, daß der verschwunden gewesene Stimmgabelton in der Tat nach einigen, meistens nach 2 bis 5 Sekunden, wieder auftrat, hierauf noch durch mehrere Sekunden wahrgenommen wurde und dann abklang. Bei einer vergleichsweisen Prüfung der Schallempfindung an beiden Ohren erscheint der am ermüdeten Ohre wiederkehrende Ton von gleicher Stärke wie am anderen Ohre und klingt auch beiderseits gleichzeitig ab. Man ersieht daraus, daß ein auf die oben angegebene Weise ermüdetes Ohr nach Ablauf von wenigen Sekunden wieder vollständig erholt ist und genau so fein empfindet, wie vor der stattgefundenen Ermüdung bezw. wie das andere nicht ermüdete Ohr.

Wenn man nach Zuleitung eines starken Stimmgabeltones zu dem einen Ohr die Gabel rasch abdämpft und dieselbe noch vor dem Verschwinden des Tones auf dem er-

müdeten Ohre, von dem einen Hörschlauch zum anderen hin- und herführt, so wird der Ton anfänglich mit dem ermüdeten Ohr sehr schwach, mit dem anderen Ohr dagegen sehr deutlich wahrgenommen; während der weiteren Prüfung verschwindet der Ton sehr schnell auf dem ermüdeten Ohre, wogegen er vom anderen Ohre noch deutlich zur Perzeption gelangt, nach einigen Sekunden tritt der Ton wiederum auf dem vorher ermüdeten Ohre erst schwach dann deutlich hervor, bis er schließlich mit beiden Ohren gleich stark gehört wird. Es ist in solchen Fällen leicht zu erkennen, daß die am ermüdeten Ohre rasch zunehmende Gehörsabnahme für den abgedämpften Ton nicht im Verhältnis zu dem langsamen Ausschwingen einer großen Stimmgabel steht, sondern bedeutend schneller erfolgt, während der später wiederkehrende Ton trotz des Abklingens der Stimmgabel anfänglich leise, dann deutlicher hervortritt. Diese Erscheinung ist wohl in dem Sinne zu deuten, daß die Perzeptionsfähigkeit des Ohres auch nach der Abdämpfung des die Ermüdung veranlassenden starken Schalleinflusses, noch einige Zeit hindurch sinkt, also für eine sehr schwache Schalleinwirkung bis auf Null, und sich hierauf sehr bald wieder zur Norm erhebt."

Urbantschitsch fand ferner, daß sich die Ermüdung des Ohres beim binotischen Hören, also beim Hören mit beiden Ohren, durch eine eigentümliche Veränderung in der Lokalisation des akustischen Bildes zu erkennen gibt. Eine solche häufig beobachtete Veränderung des subjektiven Hörfeldes, so bezeichnet er nämlich das akustische Bild, war folgende.

Bei diotischer Zuleitung pflegten viele der untersuchten Personen den zugeführten Ton median im Kopfe zu lokalisieren. Wenn man nun bei einem solchen Versuchsindividuum die eine Zuführung fest verschließt, und durch den anderen offenen Schenkel einen sehr starken Stimmgabelton in das damit verbundene Ohr leitet und diesen nach einer Weile stark abschwächt, wobei man unmittelbar darauf den andern vorher verschlossenen Schenkel plötzlich öffnet, so

springt der Ton der Stimmgabel auf das nicht ermüdete Ohr über, verharrt in demselben einige Sekunden und rückt alsdann langsam gegen die Mitte des Kopfes.

Zum Schluß noch eine Beobachtung von Jakobson, die er gelegentlich der Untersuchung einiger Patienten machte.[1])

Er fand, daß die Hördauer für einen und denselben Ton von der Stärke des Anschlages der Stimmgabel abhing. Wurde sie stark angeschlagen, so war der Ton kürzere Zeit vernehmlicher als bei schwachem Anschlag.

Überblicken wir am Ende dieses Abschnittes die über unseren Gegenstand vorgebrachten Mitteilungen aus der wissenschaftlichen Literatur, so ist klar, daß man unter dem Namen der Ermüdung des Ohres zwei grundverschiedene Erscheinungen verstehen kann und auch des öfteren verstanden hat. Auf einen ersten Blick bieten sich beide dem Beobachter als nahezu gleiche Phänomene dar. So konnte es auch kommen, daß man sie oft mit einander verwechselte. Vor einem solchen Irrtum ist man gesichert, wenn man die Ursachen oder schon die Gebiete kennt, auf denen man dieselben zu suchen hat. Für die Ermüdungserscheinungen des Ohres kommen nämlich sowohl psychologische wie auch physiologische Vorgänge in Frage. Wenn man dies erst erkannt hat, so ist es gar nicht mehr schwer, ein einfaches und zuverlässiges Kriterium zu finden, um die beiden Erscheinungen auseinander halten zu können. Sodann hat man es bisher an quantitativen Forschungen hier fehlen lassen, durch welche erst gesetzmäßige Abhängigkeit der Wirkungen von den Ursachen aufgedeckt werden können. Auf diese Weise läßt sich in den Naturwissenschaften doch immer erst dartun, ob sich eine den Erscheinungen zugrunde gelegte Hypothese bewährt oder nicht. Nach dieser Seite glaube ich die Untersuchungen über die Ermüdung des Ohres durch die vorliegende Arbeit gefördert zu haben.

[1]) Archiv für Ohrenheilkunde. Bd. 19, pag. 45. 1883.

II. Die eigenen Untersuchungen.

1. Die Versuchsapparate.

§ 3. Die Stimmgabeln.

Bevor ich mit den eigentlichen Versuchen beginne, erscheint es nötig, über die dabei verwandten Apparate einiges mitzuteilen.

Als Schallquellen benutzte ich die Stimmgabel, das Monochord und die Galtonpfeife, für die Zeitmessung das Pendel. Die mir von dem physikalischen Institut der Universität Marburg zur Verfügung gestellten, nach der Schwingungszahl sorgfältig geeichten Stimmgabeln, erforderten keine weiteren Vorbereitungen, um sie bei meinen Versuchen zu verwenden. Ich kann mich daher in bezug auf sie hier kurz fassen. Die Stimmgabel vereinigt eine Reihe von Vorzügen in sich, welche sie für die Untersuchung über die Ermüdung des Ohres außerordentlich geeignet erscheinen läßt. Ein einfacher Anschlag genügt, um sie für einige Zeit zum Tönen zu bringen, ohne daß weitere Manipulationen nötig werden. Ist man erst einmal durch einige Übung dahin gelangt, die Gabel gleichmäßig anschlagen zu können, so kann man sicher sein, nach gleichen Zeiten des Erklingens auch immer nahezu dieselben Intensitäten zu haben, da die Stimmgabeln sehr gleichmäßig verklingen. Daß sie an Intensität abnehmen, kann man sogar als einen Vorzug bezeichnen, weil man gerade durch diesen Umstand die Wirkung

verschiedener Stärkegrade auf unser Ohr leicht ermitteln kann, was bei quantitativen Untersuchungen von hohem Werte ist. Zu Gebote standen mir eine Reihe von Stimmgabeln aus den verschiedensten Tonlagen: 435, 1024, 2048, 2069, 4096 v. d.

Die anderen Versuchsapparate machten dagegen umfangreiche Vorbereitungen und genaue Bestimmungen nötig, bevor sie zur Verwendung gelangen konnten, weshalb ich diesen auch im folgenden besondere Abschnitte gewidmet habe.

§ 4. Die Monochorde.

Zur Ausführung des schon im Sitzungsberichte in der Einleitung kurz beschriebenen Grundversuches war eine zweite Schallquelle erforderlich, welche vor allen Dingen ganz plötzlich zum Schweigen gebracht werden konnte. Zu diesem Zwecke ließ ich mir im hiesigen physiologischen Institute ein Monochord anfertigen, das bekanntlich für die auf ihm erzeugbaren Longitudinaltöne diese Möglichkeit gestattet. Dieses Instrument wird durch Anreiben mittels eines wollenen Lappens, den man mit Kolophonium bestrichen hat, in Longitudinalschwingungen versetzt, die durch plötzliches Anhalten des Lappens sofort unterbrochen werden können. Die Dimensionen des von mir gebrauchten Apparates waren derartig, daß sich dieser bei seiner Verwendung nicht verschieben, also kein Geräusch verursachen konnte. Auf einem etwa 1,50 m langen vierkantigen Holzbalken mit einem Querschnitt von beinahe 100 qcm war der ganzen Länge nach ein dünner sehr elastischer Stahldraht aufgespannt. Zwischen den beiden Endklemmschrauben, die den Draht spannen und festhalten sollten, befand sich eine dritte, welche der ganzen Monochordlänge nach verschiebbar war. Auf diese Weise konnte ich jeden Bruchteil der Länge des Drahtes abteilen. Auf der oberen Längsfläche des Stützbalkens war ein Papierstreifen angebracht, auf dem man bei jeder Stellung der

mittleren Klemmschraube die Schwingungszahl des zugehörigen Longitudinaltones notieren konnte. Der tiefste Ton, den das zuerst angefertigte Monochord gab, hatte die Schwingungszahl 1640 v. d. Später, als die Untersuchung schon weiter vorgeschritten war, wurde ein zweites Monochord nötig, welches gestattete, noch tiefere Töne hervorzubringen. Dasselbe war 2 m lang und mit Messingdraht bespannt: auf diesem ließen sich die Töne bis herab zur der Schwingungszahl 900 v. d. erzeugen. Die Eichung der Monochordskala mußte sehr zuverlässig sein und erforderte desbalb eine umfangreiche Vorarbeit. Mit Hilfe der außerordentlich genau abgestimmten Stimmgabeln konnte ich vorerst einige Fixpunkte bestimmen, die diese Vorbereitungen wesentlich erleichterten. Die zwischen ihnen liegenden Stellen der Skala wurden durch Verwendung von Differenztönen geeicht, eine Methode, welche den Vorzug außerordentlicher Genauigkeit hat und das unmittelbare Abschätzen der Töne umgeht, das ja mit zunehmender Tonhöhe immer schwieriger und unzuverlässiger wird. Über diese Methode der Differenzton-Beobachtung findet man nähere Angaben in dem Bericht: „Schwingungszahl-Bestimmung sehr hoher Töne: von C. Stumpf und M. Meyer“.[1]) Zur Erzeugung der Differenztöne stand mir ein kleineres Monochord zur Verfügung, das ich auf den Holzbalken des zu eichenden aufsetzen konnte, wodurch es möglich wurde, beide mit einer Hand gleichzeitig anzureiben, um möglichst deutliche Differenztöne hervorzurufen. Wenn ich auch in der Hauptsache mit 2 Monochorden geeicht habe, so erforderte diese Methode doch noch mannigfache Nachprüfung, ein Umstand, der auch von Stumpf in der zitierten Arbeit hervorgehoben wird. So wurden die Resultate einer Versuchsreihe, die mit zwei Monochorden erhalten wurden, durch andere, die sich aus der Differenztonbeobachtung zwischen Monochord und

[1]) Wiedemanns Annalen der Physik. Bd. 61, pag. 760.

Tabelle 1.

Tabelle der direkt beobachteten Stoßtöne bei Intervallen mit Grundtönen von c^5 bis f^7.

	27 d^5	30 e^5	32 f^5	36 g^5	40 a^5	45 h^5	48 c^6	54 d^6	60 e^6	64 f^6
$24 = c^5 = 4006$	8:9	4:5	3:4	2:3	3:5			4:9		
v. d.	$1 = c^2$	$1 = c^3$	$1 = f^3$	$1 = c^4$	$1 = f^5$			$1 = c^3$		
$27 = d^5 = 4608$		9:10	27:32	3:4	27:40	3:5	9:16			
v. d.		$1 = c^2$	$5 - a^2$	$1 = g^3$	$13 - 2218{,}6$	$1 = g^3$	$2 : c^3$			
					$14 = 2389{,}3$					
$30 = e^5 = 5120$			15:16	5:6	3:4	2:3	5:8	5:9		
v. d.			$1 = f^1$	$1 = c^3$	$1 - a^3$	$1 - e^4$	$2 = c^4$	$1 - c^3$		
$32 = f^5 = 5461{,}3$				8:9	4:5	32:45	2:3	16:27		
v. d.				$1 = f^2$	$1 = f^3$	$13 = 2218{,}6$	$1 = f^4$	$5 = a^3$		
$36 = g^5 = 6144$					9:10	4:5	3:4	2:3		
v. d.					$1 = f^2$	$1 = g^3$	$1 = c^4$	$1 = g^4$		
$40 = a^5 = 6826$						8:9	5:6	20:27		
v. d.						$1 = a^2$	$1 - f^3$	$7 - 2389{,}3$		
$45 = h^5 = 7680$							15:16	5:6	3:4	45:64
v. d.							$1 = c^2$	$1 = g^3$	$1 = e^4$	$19 = 3242{,}6$

	27 d^6	30 e^6	32 f^6	36 g^6	40 a^6	45 b^6	48 c^7	54 d^7	60 e^7	64 f^7	22993 v. d.
$24 = c^6 = 8192$	8:9	4:5	3:4								
v. d.	$1 = c^3$	$1 = c^4$	$1 = f^4$								
$27 = d^6 = 9216$		9:10	27:32	3:4							
v. d.		$1 = c^3$	$5 = a^3$	$1 = g^4$							
$30 = e^6 = 10240$			15:16	5:6	3:4						
v. d.			$1 = f^3$	$1 = g^4$	$1 = a^4$						
$32 = f^6 = 10922{,}6$				8:9	4:5						
v. d.				$1 = f^3$	$1 = f^4$						
$36 = g^6 = 12288$					9:10	4:5	3:4				
v. d.					$1 = f^3$	$1 = g^4$	$1 = c^5$				
$40 = a^6 = 13653{,}3$						8:9	5:6	20:27			
v. d.						$1 = a^3$	$1 = f^4$	$7 = 4778{,}6$			
$45 = h^6 = 15360$							15:16	5:6			
v. d.							$1 = c^3$	$1 = g^4$			
$48 = c^7 = 16384$								8:9	4:5		
v. d.								$1 = c^4$	$1 = c^5$		
$54 = d^7 = 18432$									9:10	27:32	
v. d.									$1 = c^4$	$5 = a^4$	
$60 = e^7 = 20480$										15:16	
v. d.										$1 = f^3$	
$64 = f^7 = 21845{,}3$											1148
v. d.											v. d.

Stimmgabel oder zwischen Galtonpfeife und Monochord ergaben, nachgeprüft und berichtigt.

Bei der erwähnten Methode des Eichens war der Umstand zu beachten, daß die Intervallweite, in der Differenztöne überhaupt hörbar sind, mit der Höhe des Grundtones sehr stark abnimmt. In hohen Tonlagen kann man daher von einem schon bestimmten Grundton aus mit Hilfe der noch hörbaren Differenztöne mitunter nur einen ganzen Ton und weniger herauf kommen. Der so bestimmte höhere Ton mußte dann die Basis für einen weiteren Fortschritt bilden. Man ersieht daraus, daß auch diese Methode in sehr hohen Tonregionen äußerst schwierig wird.

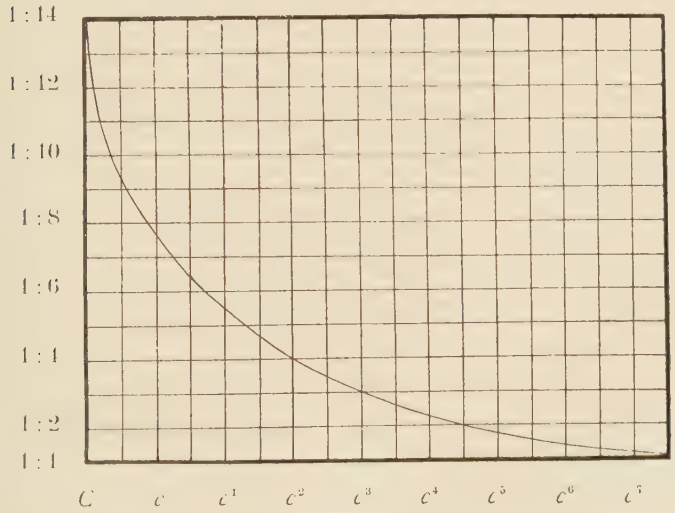
Für diese Vorarbeit hat mir die von R. Koenig[1]) aufgestellte „Tabelle der direkt beobachteten Stoßtöne“[2]) wesentliche Dienste geleistet. Da ich mich an anderer Stelle auf diese Tabelle nochmals beziehen muß, so habe ich sie nebst der zugehörigen Kurve hier angegeben. R. Koenig macht dazu folgende Anmerkungen: „Ein Blick auf diese Tabelle läßt sofort erkennen, daß die Intervallweite, bis zu welcher sich die Stoßtöne beobachten lassen, mit der Höhe des Grundtones immer kleiner wird, sodaß sie, die für den Grundton c^5 noch bis über eine None reicht, c^6 nur noch eine Quarte, für c^7 gar nur noch etwas über einen ganzen Ton und für e^7 und f^7 bloß noch einen halben Ton beträgt. Daß die Intervallweite in deren Grenzen Stoßtöne überhaupt hörbar sind, mit der Höhe der Grundtöne so beträchtlich abnimmt, ist jedenfalls höchst bemerkenswert. Man begreift in der Tat nicht, warum z. B. g^6 mit d^6 (3:4) ganz vortrefflich den Ton $1 = g^4$ gibt, aber mit c^6 (2:3) keine Spur von einem Stoßton hören läßt. Es läßt sich dieses weder dadurch erklären, daß etwa das Intervall 3:4 als ein kleineres besser hörbar sein sollte als die Quinte, da ja

[1]) Wiedemanns Annalen der Physik. Bd. 69, pag. 626.
[2]) Koenig nennt die Differenztöne Stoßtöne.

in allen tieferen Lagen gerade der Stoßton der Quinte, als aus dem oberen und unteren Stoßton zugleich bestehend, ganz besonders stark zu sein pflegt, noch läßt sich der Grund davon in dem Umstand finden, daß die Intensität der sehr hohen Stimmgabeltöne mit ihrer Höhe schnell bis zur Null abnimmt, denn die Intensität von g^6 bleibt in den beiden angegebenen Fällen dieselbe, während von den Grundtönen aber gerade c^6 stärker ist als d^6. Eine ganz genaue Grenze der Intervallweite für einen gegebenen Grundton wird sich natürlich darum nie mit Bestimmtheit angeben lassen, weil dieselbe zwar hauptsächlich, aber doch nicht nur allein von der Tonhöhe des Grundtones abhängt, und auch die Intensität der primären Töne und das mehr oder weniger empfindliche Gehör des Beobachters nicht ohne Einfluß auf sie sind."

Die in voriger Tabelle zusammengestellten Befunde R. Koenigs werden durch die nachstehende Kurve veranschaulicht.

Fig. 1.



Auf der Abzissenachse sind in gleichen Abständen von einander die Grundtöne in Oktaven aufgetragen; die Weite der Intervalle ist seitlich neben der Ordinatenachse verzeichnet.

„Eine zu große Enge des Intervalles ist der Hörbarkeit der Stoßtöne ebenfalls nicht besonders günstig, so hört man bei $h^5 : c^5$ (15:16) zwar den Ton $1 = c^2$ noch recht gut, doch bringt man ihn nur noch mit sehr starkem Anstreichen der Gabeln heraus und bei $h'' : e^7$ (15:16) ist der Ton $1 = e^3$ schon so schwach, daß man ihn kaum mehr vernehmen kann. Eine ganz besonders merkwürdige Tatsache ist aber jedenfalls die, daß Stoßtöne, welche in eine Gegend der Skala fallen, in der das Ohr meistens Töne zu hören gut gewöhnt ist, auch dann noch von solchen Personen vernommen werden können, für welche die sie hervorbringenden primären Töne selbst schon über der Grenze der Hörbarkeit liegen."

Diese Erfahrungen R. Koenigs habe ich im wesentlichen bestätigt gefunden und bei der Eichung meiner Monochorde benutzt. Die in Fig. 1 dargestellte Kurve erleichterte mir insbesondere die Ermittelung der Grenze, bis zu welcher ich von einem einmal bestimmten Primärton vorschreiten konnte. In dem Maße, wie diese Intervallweite abnimmt, muß die Zuverlässigkeit der Schwingungszahlbestimmung der Töne geringer werden, da innerhalb kleiner Grenzen z. B. auch weniger untere Primärtöne zur Verfügung stehen, deren Differenztöne mit demselben höheren Ton ebenso viele Nachprüfungen des ermittelten Zahlenwertes gestatten. Nach dieser Methode habe ich meine Monochorde bis zu einer Tonhöhe von etwa 9000 v. d. hinreichend genau eichen können; noch höhere Töne waren für meine Untersuchungen nicht mehr erforderlich.

§ 5. Die Galtonpfeife.

In dem Verlaufe meiner Untersuchungen erwies es sich als notwendig, zur Erzeugung sehr hoher Töne ein geeigneteres Instrument zu verwenden, als es mir in dem zuvor

beschriebenen Monochorden zu Gebote stand. Schon die Eichung der letzteren für die höchsten noch vernehmbaren Tonregionen wurde außerordentlich durch den Umstand erschwert, daß sich so sehr hohe Töne nicht mehr genügend stark auf ihnen hervorbringen ließen, um Differenztöne auch nur einigermaßen deutlich zu machen. Zu dieser Schwierigkeit, die sich wohl noch durch Anwendung einer anderen zweckmäßigeren Eichungsmethode hätte beseitigen lassen, trat hinzu, daß das Anreiben der der oberen Hörgrenze nahe liegenden Töne auf dem Monochord trotz aller aufgewandten Sorgfalt nicht so regelmäßig geschehen konnte, daß die hervorgebrachten Töne ununterbrochen und gleichmäßig laut erklangen. Von einem beliebigen Variieren der Intensität, wie es für meine Zwecke unumgänglich notwendig war, kann dann natürlich auch nicht mehr die Rede sein. Hier bewährte sich nun die von Professor Edelmann in München konstruierte Galtonpfeife als ein Instrument, das neben großer Zuverlässigkeit noch den Vorzug besitzt, sich äußerst bequem handhaben zu lassen. Es gibt, wenn nur die Luftzufuhr regelmäßig geschieht, einen kontinuierlichen und gleichmäßig starken Ton, dessen Höhe einfach und sehr genau variiert werden kann.

Die Galtonpfeife besteht aus einer etwa 7 cm langen Messingröhre, welche an dem einen Ende durch einen mit einer Trommelteilung versehenen Schraubenkopf verschlossen ist. Dieser ermöglicht es, den mit ihm verbundenen, im Innern der Röhre beweglichen Stempel eine bis auf 0,01 mm regulierbare Entfernung von dem offenen Ende der Röhre zu geben. Die Schraube ist so eingerichtet, daß sie bei einer ganzen Umdrehung den Stempel um 1 mm verschiebt. Die ganze Vorrichtung bildet also eine gedackte Pfeife von kreisförmigem Querschnitt, dessen Durchmesser 4 mm beträgt. Die Anblaseöffnung ist von dem Pfeifenrohre getrennt. Man nennt ihren auf verschiedene Entfernungen abstellbaren Abstand von dem offenen Pfeifenende die Mundweite.

Wenn man von der bekannten Korrektion für das offene Ende absieht, so wird der durch gedackte Pfeifen erzeugte Ton durch die Formel

$$n = \frac{v}{4\,l}$$

bestimmt, in welcher n die Schwingungszahl, v die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Schallwellen und l die Länge der Pfeife bedeutet. Hierbei ist vorausgesetzt, daß l groß ist gegenüber dem Querschnitt der Pfeife. Dies ist aber für hohe Töne nicht mehr der Fall, die Pfeife ist für diese „kubisch".

Bei der Galtonpfeife ist nun aber in besonders auffälliger Weise die bei allen Pfeifen zu beachtende Abhängigkeit der Schwingungszahl von dem Winddruck zu berücksichtigen, die derart stattfindet, daß n bei gleicher Pfeifenlänge mit dem Druck zunimmt. Außerdem ist zu beobachten, daß die Mundweite um so größer zu nehmen ist, je größer Druck und Pfeifenlänge sind.

Diesen Umständen ist sorgfältig Rechnung getragen in der von Herrn Professor F. A. Schulze[1]) angegebenen Tabelle, welche die Schwingungszahlen der Edelmannschen Galtonpfeife angibt. Da ich mich in meiner Arbeit auf diese Tabelle gestützt habe, so mag sie hier angeführt werden (Tab. 2). Bei der Messung des Druckes, den der Luftstrom in den gegebenen Fällen haben mußte, bediente ich mich eines Manometers, das der Pfeife in der Luftzuleitung vorgeschaltet war. Das Anblasen der Galtonpfeife geschah einfach mit dem Munde, was nach kurzer Zeit der Übung regelmäßig genug ausgeführt werden konnte, um meinen Versuchen zu genügen.

---

[1]) Zur Bestimmung der Schwingungszahlen sehr hoher Töne von F. A. Schulze. Annalen der Physik und Chemie. Neue Folge Bd. 68, pag. 869. 1899.

Tabelle 2.

Schwingungszahlen der Edelmannschen Galtonpfeife.

Teilstrich bez. Länge der Pfeife inmm	90 mm Winddruck		240 mm Winddruck		550 mm Winddruck	
	Mundweite	Schwingungszahl	Mundweite	Schwingungszahl	Mundweite	Schwingungszahl
20,0	1,25	3820 v. d.	1,60	3810	—	—
18,0	1,10	4220	1,80	4220	—	—
16,0	0,90	4640	1,70	4760	—	—
14,0	0,90	5220	1,70	5250	—	—
12,0	0,80	5960	1,40	6150	1,30	6400
10,0	0,70	7050	1,25	7210	1,30	7280
9,0	0,65	7530	1,15	7760	1,20	7860
8,0	0,70	8420	1,05	8710	1,10	8660
7,0	0,55	9420	0,95	9710	1,15	9730
6,0	0,60	10320	0,90	10860	1,20	10940
5,0	0,50	11530	0,90	12340	1,25	12380
4,0	0,45	13520	0,90	14250	1,35	14460
3,0	0,10	16340	1,00	17000	1,00	17310

§ 6. Das der Zeitmessung dienende Pendel.

Für die erforderlichen Zeitmessungen hatte ich mir ein Pendel hergestellt. Maßgebend für seine Verwendung war vor allen Dingen der Umstand, daß es im allgemeinen bei seinen Schwingungen kein Geräusch verursacht, wodurch solche Beobachtungen, bei denen Schallintensitäten zu beurteilen sind, empfindliche Störungen erleiden müssen. Die Schwingungsdauer des Pendels hängt in der Hauptsache von der Fadenlänge ab. Es war daher sehr einfach, die Schwingungszeit T zu ermitteln, die eine genaue und bequeme Ablesung der in meiner Untersuchung häufig zu messenden Zeitintervalle ermöglichte. Da die in Frage kommenden Zeitlängen zwischen 0,1 und 1 Sek. schwankten, erwies sich das 3 Sekunden-Pendel als diesen Anforderungen entsprechend.

Um dem idealen Falle eines einfachen Pendels möglichst nahe zu kommen, verwandte ich einen dünnen Seidenfaden, an dessen Ende ein $1^1/_4$ kg schweres Bleigewicht befestigt war. Für die erwähnte Schwingungsdauer $T = 3$ Sek. wurde die zugehörige Fadenlänge $a = 223{,}6$ cm aus der Formel

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{a}{g}}$$

errechnet. Bei 100 Schwingungen des in dieser Länge hergestellten Pendels zeigte sich noch keine merkliche Abweichung von der durch die Rechnung geforderten Zeit. Die Ablesefskala, den Größenverhältnissen des Versuchsortes angepaßt, befand sich auf einem Kreisbogen um den Aufhängepunkt mit dem Radius 1,75 m. Ihre Eichung habe ich nach der Pendelformel

$$\vartheta = \alpha \cos\left(t\sqrt{\frac{g}{a}}\right) \tag{1}$$

vorgenommen, in der ϑ den Pendelausschlag, α die Amplitude, t die Zeit, g die Erdakzeleration und a die Fadenlänge

bedeutet. Diese Gleichung wird bekanntlich durch Integration der Differentialgleichung

$$dt = \sqrt{\frac{a}{g}} \frac{d\Theta}{\sqrt{2\cos\Theta - 2\cos\alpha}}$$

erhalten, wenn man darin für die Cosinusfunctionen die beiden ersten Glieder ihrer Potenzreihen-Entwickelung einsetzt, also für

$$\cos\Theta = 1 - \frac{\Theta^2}{2!} + \frac{\Theta^4}{4!} - \cdots$$

einfach

$$\cos\Theta = 1 - \frac{\Theta^2}{2}$$

und ebenso entsprechend für cos α dieselbe Abkürzung setzt. Es genügt, die Zulässigkeit einer solchen Substitution für den größten Wert von der variablen Größe Θ, nämlich für α nachzuweisen, da sie dann für den kleineren Bogen a fortiori gilt.

Bei meinem Pendel betrug die Amplitude α nur 0,2 der Bogenlänge des Einheitskreises. In der Reihe für den Cosinus wird das erste vernachlässigte Glied also nur den kleinen Betrag

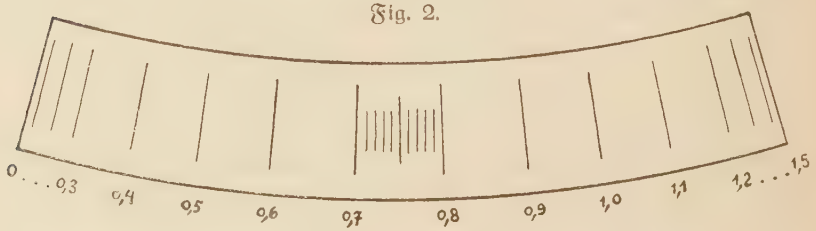
$$\frac{0{,}0016}{24} = 0{,}00007$$

haben. Dieser Fehler kam bei meinen Ablesungen schon nicht mehr in Frage, deren Genauigkeit sich nur bis zur dritten Dezimale erstreckte.

Es war ferner noch der Einfluß der Dämpfung zu berücksichtigen. Bei einer einzelnen Beobachtung, die sich auf einen Zeitraum von etwa 3 Sek. ausdehnte, nahm α unge-

fähr um 0,001 der Bogenlänge des Einheitskreises ab; α betrug also dann nur noch 0,199. Wenn die Ablesung an den äußersten Teilstrichen der Skala vorgenommen wurde, so war infolge der Dämpfung der Schwingung die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, einen Fehler von etwa 1 Sek. zu machen. Wie aus Gleichung (1) zu ersehen ist, nimmt der störende Einfluß der Amplitudenverminderung mit Θ ab, so zwar, daß der Ablesefehler an Stellen nahe der Mittellage verschwindend klein wird. Ich mußte um die Mittellage des Pendels ein Gebiet der Skala derart abgrenzen, daß innerhalb desselben der durch die Dämpfung bewirkte Fehler die Genauigkeit der Messung nicht noch weiter beeinträchtigte. Für eine ganze Gruppe von Zeitbestimmungen in meinen Untersuchungen war eine Zuverlässigkeit bis zur dritten Dezimale der in Sekunden angegebenen Zeit erforderlich. Ein solcher Grad der Genauigkeit der Beobachtungen war also nur möglich, wenn sich die Ablesung in speziellen Fällen auf ein gewisses in der Mitte gelegenes Gebiet der Skala beschränkte. Die Berechnung der durch die Dämpfung bewirkten Abweichungen von der Einteilung ergab, daß obigen Anforderungen entsprochen wurde, wenn nur der Teil, der durch die Teilstriche 0,6 und 0,9 begrenzt war (siehe Figur 2), bei solchen genauen Ablesungen benutzt wurde.

Fig. 2.



Setzt man nämlich in (1) $t = 0{,}6$ und berechnet Θ einmal für $\alpha = 0{,}2$ und ein andermal für $\alpha = 0{,}199$, so ergeben sich 2 Werte, die sich um den Betrag 0,0003 voneinander unter-

scheiden, der bei Ablesung mit bloßem Auge jenseits der Beobachtungsmöglichkeit liegt.

Ebenfalls abhängig von ϑ war der Einfluß der Parallaxe; die hierdurch bedingten Fehler wurden einfach mit Hilfe einer von mir berechneten Tabelle beseitigt.

2. Versuche über die Ermüdungserscheinungen beim Ohre, die auf psychologische Ursachen schließen lassen.

§ 7. Beschreibung des Grundversuches.

Der in der Einleitung im Wortlaut angeführte Sitzungsbericht enthält bereits eine kurze Schilderung des Grundversuches, bei dessen Ausführung Ermüdungserscheinungen des Ohres beobachtet wurden, deren quantitative Erforschung das Hauptthema meiner Arbeit bildet. Es lag in der Besonderheit dieser Aufgabe, daß sich die überwiegende Mehrzahl meiner Versuche in der Anordnung an jenen ersten anlehnen mußten. Ich kann mich daher bei einer Beschreibung meiner Versuche auf die Vorführung eines einzelnen beschränken, der geeignet ist, diese ganze Gruppe unter sich nicht wesentlich von einander abweichender Versuche zu beleuchten. Einzelne Modifikationen, die im Verlaufe der Untersuchung nötig wurden, werde ich bei der Erklärung der Erscheinungen erwähnen, wo dann auch Zweck und Bedeutung solcher Abweichungen klarer zu Tage treten.

An dieser Stelle möchte ich jedoch noch eine kurze Bemerkung einschieben, welche sich auf die Tageszeit bezieht, in der ich meine Beobachtungen anstellte. Die individuelle augenblickliche Disposition des Gehörsorganes ist nämlich im Verlaufe eines Tages hinsichtlich der Stärke viel größeren Schwankungen ausgesetzt als hinsichtlich der Qualität der Empfindung. Stumpf macht in der Tonpsychologie[1]) über diesen Punkt sehr bemerkenswerte Angaben. „Wie die Netz-

[1]) 1883, Bd. 1, pag. 358.

haut während je 24 Stunden ihre Empfindlichkeit periodisch ändert, so gilt dies ohne Zweifel auch für den Gehörsnerven. Dieser scheint mir aber namentlich gegen Abend empfindlicher zu werden. Extrem schwache Obertöne und Differenztöne, die zu vernehmen mir am Tage nur schwer gelingt, höre ich abends und in der Nacht ohne Schwierigkeit, und der Unterschied ist so auffallend, daß ich ihn nicht auf die günstigeren äußeren Umstände, (Abwesenheit des diffusen Tagesgeräusches) allein schieben möchte, zumal das Zimmer, wo ich dies oft genug beobachtete, ganz einsam am Würzburger Glacis in einem alten Festungsturme mit über 1 m dicken Mauern gelegen, auch Tages über tiefe Stille bot."

Ich habe diese Angaben Stumpfs durch eigene Beobachtung in vollem Umfange bestätigt gefunden. Eine sehr wichtige Feststellung, die eine außerordentliche Empfindlichkeit des Hörnerven voraussetzte, ist mir auch erst in der Stille der Nacht gelungen.

Ich gehe nun zur eigentlichen Beschreibung eines Versuches über, wie er des öfteren in meinen Untersuchungen wiederkehrte. Im Beginne wurde das der Zeitmessung dienende Pendel in Schwingung versetzt und zwar so stark, daß die ersten Amplituden um etwa 5 cm über den letzten Teilstrich der Skala hinausgingen. Dies hatte einen doppelten Zweck. Zunächst dienten diese ersten etwas zu großen Ausschläge nur dazu, daß ich mich davon überzeugen konnte, ob die Schwingungsebene des Pendelfadens unveränderlich, besonders aber stets parallel der Wand blieb, vor welcher das Pendel schwang. Auf diese Weise wurden nicht unbedeutende Fehler in der Ablesung der Versuchszeiten vermieden. Ferner galt es, den Einfluß der Dämpfung der Schwingung auf die Zeitmessung so klein wie möglich zu machen. Zu diesem Zwecke wurde die Zeit eines Versuches, deren Länge vorher schon ermittelt war, so gewählt, daß in deren Beginn der Pendelausschlag den äußersten Teilstrich um eben so viel überragte, als er am Ende derselben von diesem entfernt

blieb. Die während einer Versuchsdauer auftretende Dämpfung des Pendels spielte sich also in einem Gebiete der Skala ab, das deren Endteilstrich in der Mitte enthielt. Die Dämpfung betrug bei einer Dauer des Versuches von etwa 20 Sekunden nur 0,006 m der Skala, mithin also nur 0,0034 in Bogenlänge des Einheitskreises.

In dem so bestimmten Anfangspunkte der Beobachtungszeit versetzte ich die Stimmgabel durch einen Schlag mit einem Holzhämmerchen in Schwingung. Bei den verschiedenen Versuchen wurde dieser Schlag möglichst gleich stark ausgeführt, um bei neuem Anschlag der Stimmgabel auch stets nach gleichen Zeiten des Erklingens dieselben Intensitäten wieder vorzufinden. Die Dimensionen des Hämmerchens waren natürlich so bemessen, daß selbst bei etwaigem heftigeren Anschlagen eine Beschädigung der Stimmgabel ausgeschlossen war.

Unmittelbar nach dem Anschlag der Gabel brachte ich auf dem Monochord einen Longitudinalton hervor, dessen Intensität so stark war, daß man die Stimmgabel nicht mehr hören konnte. In dem Moment, wo das Pendel einen bestimmten Punkt der Einteilung z. B. die Mittellage passierte, wurde der Monochordton durch plötzliches Anhalten des Wollläppchens unterbrochen. In der nun folgenden Erscheinung ließ sich ein Dreifaches unterscheiden. Unmittelbar nach dem Verschwinden des Monochordtones hörte ich für einen kurzen Moment die Stimmgabel überhaupt nicht. Je nachdem sie schon längere oder kürzere Zeit im Abklingen begriffen war, also leiser oder noch laut klang, wurden größere oder kleinere solcher Pausen beobachtet. Die gesetzmäßige Abhängigkeit derselben von der Intensität des abnehmenden Klanges machte sich durch den Umstand kenntlich, daß in gleichen Zeiten, immer von dem Anschlag der Stimmgabel an gerechnet, auch gleich lange Pausen auftraten. Die Länge dieser Pausen variierte zwischen 0,01 und 0,15 Sekunden.

Nach diesem allerdings ziemlich kurzen Zeitraume vermeintlicher Stille setzte die Empfindung des Stimmgabeltones wieder ein und zwar zuerst ganz leise, um darauf sehr schnell zu einem Maximum anzuschwellen. Diese Tatsache ist um so bemerkenswerter, als sich bei diesem Vorgange die objektive Intensität der Schallreize, nämlich die Amplituden der schwingenden Gabelzinken und die subjektive Empfingsstärke gleichsam in entgegengesetzter Richtung verändern. Man hatte den Eindruck, als ob sich das durch den Longitudinalton etwas betäubte Ohr schnell wieder bis zur normalen Hörschärfe und sogar noch darüber hinaus erholte.

Auf dieses Maximum endlich folgte eine sehr schnelle Abnahme in der Stärke der Empfindung, welche sich nicht durch die gleichzeitige Verminderung der Schwingungsweite der Stimmgabelzinken erklären ließ, weil erstere sehr viel schneller vor sich ging. Die Empfindung war, um einen Vergleich zu gebrauchen, über die objektiven Intensitätsverhältnisse mit dem Erreichen des vorhin erwähnten Maximums hinausgeeilt und schien nun bestrebt zu sein, nach dem sie ihrer Übereilung gewahr wurde, den tatsächlich vorhandenen Verhältnissen sich so schnell wie möglich wieder anzupassen.

Die Figur 3 zeigt den auf die Unterbrechung folgenden ganzen Vorgang. Die Abszissenwerte stellen die Zeit dar, welche von dem Anschlagen der Stimmgabel an gerechnet ist, die Ordinaten dagegen die Intensitäten. Die allmähliche Abnahme der Amplituden bei der Stimmgabel zeigt die gestrichelte Kurve (Kurve 0). Wenn kein weiterer störender Einfluß vorhanden ist, wird die subjektive Empfindung ihrer Stärke nach eben durch diese Kurve 0 (ich nenne sie die objektive Kurve) dargestellt. Sie findet ihren analytischen Ausdruck in der Exponentialfunction.

$$y = a e^{-bt},$$

in der a die Maximalamplitude zur Zeit $t = o$, b das Maß für die Größe der Dämpfung t die Zeit und y die In-

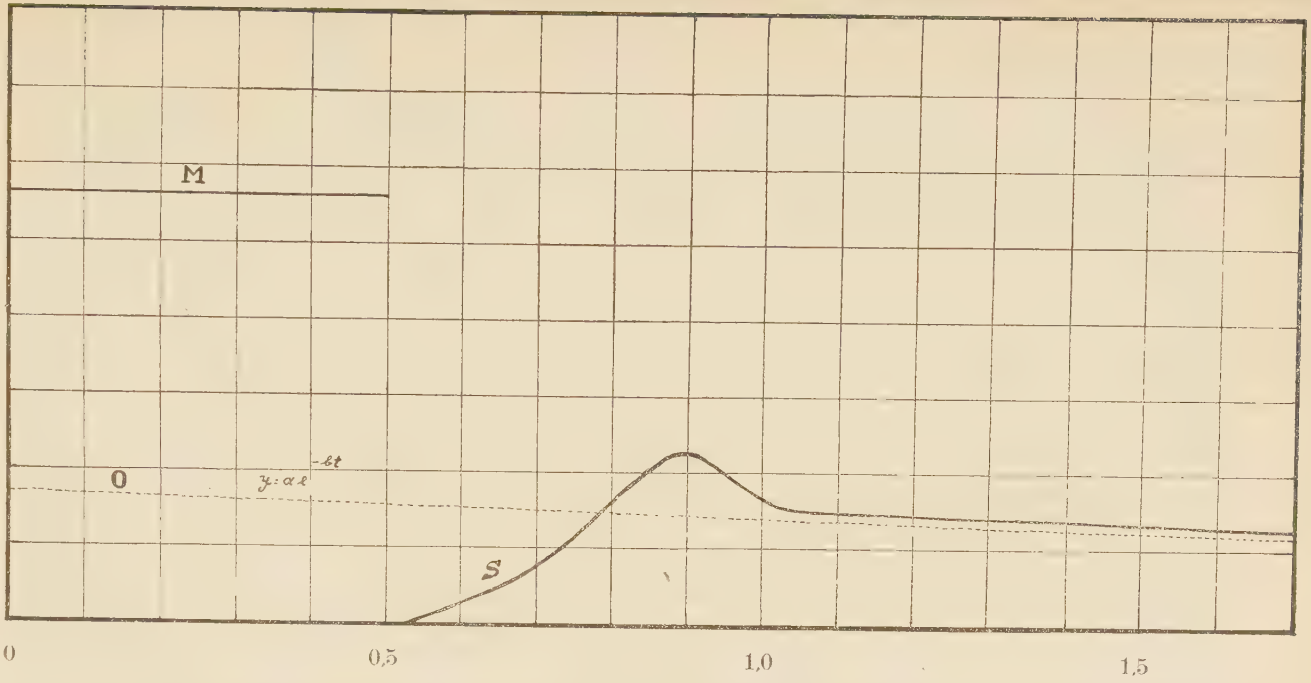


Fig. 3.

Abszissen: Zeit in sec; Ordinaten: Intensität der Tonempfindung. M: Monochordklang; O: abklingender Stimmgabelton; S: Intensität des Stimmgabeltones nach Unterbrechung des Monochordtones.

tensität oder Amplitude bedeutet: a und b sind natürlich willkürlich angesetzte und nicht etwa gemessene Werte. Genauere Angaben über das Abnehmen der Amplituden bei schwingenden Stimmgabeln findet man z. B. in einer Arbeit von R. Hartmann-Kempf: „Über den Einfluß der Amplitude auf die Tonhöhe und das Dekrement von Stimmgabeln und zungenförmigen Stahlfederbändern".[1]) Ferner in P. Ostmann: „Ein objektives Hörmaß und seine Anwendung. J. F. Bergmann, Wiesbaden 1903. Der gleichmäßig laut ertönende Longitudinalton ist durch die Parallele zur Abszissenachse dargestellt. In dem durch diese Figur wiedergegebenen Beispiele ist der Monochordton zur Zeit t = 0,5 unterbrochen worden. Der Stimmgabelklang tauchte im Bewußtsein erst etwa 0,04 Sekunden nach der Unterbrechung auf. Die Kurve S veranschaulicht die darauf folgende Steigerung der Empfindung bis zu deren Maximum bei der Abszisse 0,87 und das weiter auftretende Sinken der Intensität. Zuletzt, etwa von der Zeit t = 1,05 an, wird die Empfindung nach ihrer Stärke allein durch die Amplitude der Stimmgabel bestimmt, wie es in der Figur durch das Zusammenfallen der Kurven O und S zum Ausdruck kommt.

Solcher Unterbrechungen wurden jedesmal während der Abklingungszeit der Stimmgabel mehrere vorgenommen und zwar folgten diese regelmäßig in Abständen von 3 Sekunden aufeinander. Die dabei gefundenen Gesetzmäßigkeiten in den Zahlenwerten der Messungen werde ich in dem folgenden Abschnitt vorbringen, der uns dann auch mit der Deutung der Erscheinungen beschäftigen wird.

§ 8. Schwierigkeiten gegenüber einer anatomisch-physiologischen Begründung des Phänomens.

In der Folge wollen wir übereinkommen, den im vorigen Teil beschriebenen Versuch durch einen besonderen

[1]) Annalen der Physik, Bd. 13, pag. 124. 1904.

Namen, den ich auch schon einmal gebraucht habe, zu kennzeichnen; er möge hinfort einfach der Grundversuch heißen. Die bei diesem Versuche auftretenden Phänomene habe ich in der Überschrift des vorigen Abschnittes als Ermüdungserscheinungen bezeichnet, obwohl noch keineswegs ausgemacht ist, daß es sich hier um physiologische Vorgänge handelt, zu denen man gemeinhin die Ermüdungsphänomene rechnet. Doch können wir diese Bezeichnung vor der Hand noch beibehalten, zumal sich ja die Vorgänge des Grundversuches wenig von solchen unterscheiden, die tatsächlich auf Ermüdungszustände des Ohres schließen lassen. Unter diesem Gattungsbegriff würden wir alsdann füglich die folgenden beiden Unterarten zu verstehen haben: Ermüdungszustände des Ohres, hervorgerufen durch physiologische Ursachen und eben solche Zustände, durch psychologische Tatsachen bewirkt.

Um die Frage zu entscheiden, zu welcher Art die Phänomene unseres Grundversuches gehören, müssen wir uns mit der Theorie der Gehörsempfindungen befassen. Diejenige Theorie, die heute fast allseitige Anerkennung findet, ist die Resonanzhypothese von Helmholtz.

Sie geht von der psychologischen Tatsache aus, daß der Gehörsinn ein analysierender Sinn ist. Wir besitzen nämlich, wie zuerst G. S. Ohm feststellte, die Fähigkeit, einen gegebenen Klang in seine Partialtöne zu zerlegen. In unserm Gehörorgane müssen demnach eine Reihe einzelner Teile vorhanden sein, deren jeder auf einen Ton von bestimmter Höhe abgestimmt ist. Helmholtz hatte zuerst in der Gesamtheit der Cortischen Bögen ein derartiges Organ vermutet, welches die Analyse der Klänge zu leisten habe. In der dritten Auflage seiner Lehre von den Tonempfindungen aber hat er sich der von Hensen aufgestellten Hypothese angeschlossen, welche die Grundmembran (Lamina basilaris) als einen solchen abgestimmten Endapparat bezeichnet. Die Grundmembran, in der Schnecke des inneren Ohres ausge-

breitet, nimmt nämlich von der Basis zur Spitze im Querdurchmesser stetig zu, derart, daß ihr Ende gegen den Anfang etwa 12 mal so breit ist. Da nun die Spannung der Membran in der Länge geringer als in der Quere ist, so müssen sich die einzelnen Teile wie gespannte, verschieden lange Seiten verhalten. Infolge der Mechanik des Mittönens können einzelne Teile der Grundmembran in besonders starke Schwingung geraten. Diese können unmittelbar oder mittels der Cortischen Bögen auf die unter der Membran liegenden Akustikusfasern übertragen werden. Die mechanischen Stöße, welche dieselben so erleiden, haben eine Frequenz, die der Schwingungszahl des einwirkenden Tones entspricht. In welcher Weise nun der Zusammenhang zwischen diesen mechanischen Reizen und den physiologischen Vorgängen im Nerven selbst zu denken ist, darüber gehen die Ansichten sehr auseinander. Die hierüber von Helmholtz zuerst aufgestellte Theorie der spezifischen Sinnesenergieen ist wohl nicht mehr haltbar. Nach ihr soll die Tonqualität eine spezifische Eigenschaft der Nervenfasern sein und die Grundmembran nur den Zweck haben, den entsprechenden Reiz auszulösen. Wundt[1]) macht hier mit Recht folgende Bemerkungen: „Man wird nicht sagen können daß diese Vorstellungsweise irgend eine Wahrscheinlichkeit für sich habe, wohl aber steht sie in schärfstem Widerspruch sowohl mit den Tatsachen der Sinnesentwickelung wie mit den bekannten Eigenschaften der Nervensubstanz, abgesehen davon, daß sie den Zweck der Resonanzhypothese, den Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung einigermaßen dem Verständnis näher zu bringen, zum Teil wieder in Frage stellt, indem sie lediglich auf eine qualitas occulta der einzelnen Akustikusfasern hinauskommt". Innerhalb der Helmholtz'schen Reso-

[1]) Wundt. Grundzüge der physiologischen Psychologie, 1902, 1. Bd., pag. 420.

nanzhypothese sind aber noch zwei weitere Vorstellungsweisen über das Verhältnis zwischen äußerem Schallreiz und fortgeleitetem Erregungszustand im Nerven möglich.

Man kann sich zweitens auch vorstellen, daß jede Faser des Akustikus für beliebige Schallreize empfänglich ist. Die in ihnen sich abspielenden Nervenprozesse sind dann nicht für jede Faser von besonderer Art oder Qualität, sondern unterscheiden sich nur nach der Zahl der einwirkenden Schwingungen. Endlich ist noch eine dritte Möglichkeit zu erwähnen. Es könnte sein, daß in dem ersten Stadium der Entwickelung unseres Gehörorganes unsere Akustikusfaser auf alle möglichen Schalleinwirkungen reagiert hat. Die fortschreitende Entwickelung des Resonanzapparates brachte es aber mit sich, daß gewissen Fasern immer nur bestimmte Schwingungen mitgeteilt wurden, wodurch diese ihre Fähigkeit mehr und mehr verloren, auf verschiedene Tonqualitäten zu antworten.

Die größte Wahrscheinlichkeit hat die zweite Hypothese. Sie könnte in der Weise modifiziert werden, daß innerhalb gewisser Grenzen eine Anpassung, wie sie die dritte Hypothese voraussetzt, stattgefunden hat. Auf Grund dieser Vorstellungen über den Vorgang des Hörens ist es nun nicht mehr schwer, die vorhin gestellte Frage zu entscheiden. Wenn durch einen Ton, der einige Zeit auf unser Ohr einwirkt, eine Ermüdung des Ohres wirklich eintreten sollte, so müßte sich dies nach den oben geschilderten Voraussetzungen in einer Herabsetzung der Hörschärfe für diesen speziellen Ton, der die Erscheinung verursacht, äußern. Der den Schallreiz hervorrufende Ton kann nur wenige benachbarte Fasern des Hörnerven infolge der Resonanzwirkung in Erregung versetzen und daher auch nur diese Nervenpartie in ihrer Funktion herabsetzen.

Die in dem Grundversuche beobachteten Pausen in der Tonempfindung müßte dann länger werden, wenn der Monochordton mit der Stimmgabel unisono ist. Diese Ver-

Tabelle 3 (Stimmgabel 2048 v. d.)

Unterbrechungszeit	1640		2048		3100		4096		6200	
	Pausen	Maximum	Pausen	Maximum	Pausen	Maximum	Pausen	Maximum	Pausen	Maximum
3	0,005	0,11	0,005	0,10	0,005	0,11	0,005	0,10	0,005	0,10
6	0,008	0,14	0,007	0,15	0,009	0,14	0,008	0,14	0,008	0,15
9	0,018	0,21	0,018	0,21	0,020	0,20	0,019	0,21	0,020	0,21
12	0,033	0,29	0,032	0,30	0,031	0,29	0,032	0,29	0,030	0,30
15	0,053	0,41	0,052	0,42	0,050	0,41	0,050	0,41	0,051	0,42
18	0,083	0,56	0,086	0,55	0,085	0,56	0,081	0,54	0,083	0,57
21	0,130	0,85	0,133	0,81	0,131	0,88	0,134	0,82	0,133	0,89

mutung hat sich aber durch die vorgenommenen Messungen der Pausenlängen nicht bestätigt, wie ein Blick auf die Tabelle 3 lehrt.

Der dieser Zusammenstellung der Versuchsresultate zugrunde liegende Versuch wurde mit einer Stimmgabel von der Schwingungszahl 2048 v. d. ausgeführt, deren abnehmender Klang nacheinander durch verschiedene intermittierende Longitudinaltöne begleitet war. Die Unterbrechungszeiten für den Monochordton sind von dem Anschlagen der Stimmgabel, die Pausen und das Maximum in der Stärke der Empfindung dagegen immer nur von der letzten Unterbrechung an gerechnet. In der ersten Horizontalreihe findet man die Schwingungszahlen der verschiedenen bei dem Versuche angewandten Monochordtöne angegeben. Wie man sieht, sind die diesen verschiedenen Tönen entsprechenden Pausen gleich groß, wenn man von kleinen, innerhalb der Fehlergrenzen liegenden Abweichungen absieht. Insbesondere ist dies für den Longitudinalton 2048, also bei unisono der Fall.

Dieselbe auffallende Übereinstimmung zeigt sich in dem Eintreten des Maximums in der Empfindung. Überhaupt spricht die letztere Tatsache an sich allein, ohne Rücksicht auf die Schwingungszahl des intermittierenden Tones, schon gegen eine physiologische Interpretation der ganzen Erscheinung. Man kann sich sehr wohl denken, daß sich ein ermüdetes Organ langsamer oder schneller bis zur ursprünglichen Leistungsfähigkeit wieder erholt. In unserer Erscheinung würde aber die Tatsache des Maximums, das über die objektive Reizstärke hinausragt, eine Erholung des Nerven voraussetzen, die seine Funktion über den normalen Grad seiner Leistungen steigert, was aber doch sehr unwahrscheinlich sein dürfte.

Es könnte nun sein, daß bei unisono doch Ermüdungszustände eintreten, die sich nur nicht wegen ihrer sehr geringen Dauer nachweisen lassen. Das Ohr ist nicht so leicht

zu ermüden wie z. B. das Auge. Stumpf[1]) bemerkt zu diesem Punkte in seiner Tonpsychologie: „Im Allgemeinen (nämlich abgesehen von den höchsten Tönen) läßt sich sagen, daß das Hören viel langsamer vorgeht, als das Sehen. Genügt es ja, selbst einen lichtschwachen Punkt einige Minuten zu fixieren, um ihn nicht mehr zu sehen; während man einen Ton stundenlang ohne beträchtliche Einbuße der Hörkraft hören kann. So erfolgt dann auch die Erholung rascher beim Ohre. Nach wenigen Sekunden ist der Nerv von nicht überstarken Reizen vollständig erholt (Urbantschitsch); bei den höchsten Tönen genügt ein Augenblick, z. B. rasches Vorüberziehen der Hand zwischen dem Instrumente und dem Ohre, um den Ton wieder hörbar zu machen (Rayleigh). Von 20 kurzen Paukenschlägen mit ebenso kurzen Pausen wird der letzte nicht merklich schwächer vernommen als der zweite, selbst als der erste, wenn dieser uns nicht etwa nach tiefer oder langer Stille oder unvorbereitet traf. Ja, es scheint durch sehr schwache kontinuierliche Reize sowohl als durch intermittierende von mittlerer Stärke die Hörschärfe ungefähr auf gleicher Stufe erhalten zu werden; finden ja minimale innere Reizungen wirklich immerfort statt".

Gerade die letzte Bemerkung Stumpfs findet in meinen Versuchen eine weitere Bestätigung. Die Intensität eines Longitudinaltones, nur bis zu einem gewissen Grade durch heftigeres Reiben der Steigerung fähig, bleibt immer eine von mittlerer Stärke. Wenn also eine Herabsetzung der Hörschärfe selbst bei kontinuierlichem Reize von dieser Stärke nicht eintritt, so wird dies sicherlich nicht der Fall sein, wenn dieser mit Unterbrechungen auf unser Ohr einwirkt, in denen das Ohr wiederholt Gelegenheit findet, sich zu erholen. Physiologische Ursachen kann man nach allem diesem unter Anerkennung der Helmholtzschen Theorie, die in so einleuchtender Weise allgemein anerkannte akustische Tatsachen mit

[1]) Tonpsychologie (1883) 1. Bd. pag. 362.

so sinnfälligen Strukturverhältnissen des Gehörapparates, wie die Schneckenklaviatur, unter Berücksichtigung der Analysierfähigkeit des Gehörsinnes vereinigt, für die Phänomene unseres Versuches nicht verantwortlich machen. Es bleibt nur die Wahl, dieselben auf psychologischem Gebiete zu suchen. Zu dieser Vermutung drängte vor allen Dingen das der Unterbrechung folgende Maximum in der Tonempfindung. Wenn es aber möglich ist, durch psychische Tatsachen die Steigerung in der Intensität der Empfindung zu erklären, so war auch das Gegenteil nicht mehr ausgeschlossen, eine Verminderung der Empfindungsstärke, ja selbst ein völliges Verschwinden der Empfindung in gleicher Weise zu interpretieren. In der Großhirnrinde, wohin die durch das Sinnesorgan aufgenommenen Reize geleitet werden, spielen sich sehr wahrscheinlich eigenartige Hemmungsvorgänge ab, durch welche anderen Reizen der Zugang zum Bewußtsein erschwert wird. Sie zeigen sich in besonderem Grade wirksam, wenn wir mit gespannter Aufmerksamkeit auf einen gegebenen Eindruck achten und werden erst deutlich, wenn in einem derartigen Zustand der Spannung die äußeren Reizverhältnisse sich plötzlich ändern. Der neue Eindruck wird nicht sofort in voller Klarheit und Deutlichkeit aufgefaßt, sondern hat erst die vorhandenen Hemmungen zu überwinden. So führen uns also die eigenartigen Intensitätsschwankungen des Stimmgabelklanges nach der Unterbrechung des Monochordes auf Ursachen, die mehr zentralerer Art sind, sich also nicht an der Peripherie, im Sinnesorgan, abspielen. Damit kommen wir zu den Ausführungen des folgenden Abschnittes.

§ 9. Psychologische Erklärung der Erscheinungen des Grundversuches.

In diesem Teile habe ich mich in vollem Umfange den Ausführungen Wundts in der Physiologischen Psychologie[1])

[1]) 3. Bd. 1903. pag. 331.

angeschlossen. Die durch meine eigenen Untersuchungen erbrachten Belege für seine dort entwickelten Ansichten sind gleich an den betreffenden Stellen in den im Wortlaut angeführten Text eingeflochten.

„Neben dem Gehen und Kommen der Gefühle und Vorstellungen nehmen wir in uns in wechselnder Weise mehr oder weniger deutlich eine Tätigkeit wahr, die wir die Aufmerksamkeit nennen. Subjektiv wird diese Tätigkeit stets von einem Gefühl begleitet, das in der unmittelbaren Selbstauffassung denjenigen Gefühlen gleicht, die wir bei jeder Art von Willenstätigkeit in uns finden, und das wir daher bereits als das Tätigkeitsgefühl in uns bezeichnet haben." Es ist sehr wohl zu beachten, daß diese Tätigkeit mit dem sie begleitenden Gefühle *neben* dem Gehen und Kommen der Vorstellungen in uns wahrgenommen wird, ihr also gegenüber den Vorstellungen eine gewisse Selbständigkeit eingeräumt wird. So wird es auch verständlich, wie die Stärke einer Empfindung über die objektiv vorhandenen Reizverhältnisse selbst hinaus gehen kann. Diese Spontaneität in allen unseren Bewußtseinsvorgängen zeigt sich so im Besonderen auch in dem Maximum der Empfindungsstärke bei unserem Versuche, dessen physiologische Erklärung uns nicht gelingen wollte.

„Sehr häufig wird das Tätigkeitsgefühl, namentlich bei gesteigerter Aufmerksamkeit, durch die sinnlichen Gefühle verstärkt, welche die unten zu erwähnenden, im Zustand der Aufmerksamkeit häufig vorhandenen Spannungsempfindungen der Haut und der Muskeln begleiten. Jenes Gefühl der Tätigkeit selbst steht aber in einem deutlichen Gegensatze zu einem andern Gefühl, das wir regelmäßig dann in uns finden, wenn ein äußerer Eindruck oder ein aufsteigendes Erinnerungsbild nicht der vorhandenen Disposition der Aufmerksamkeit entspricht, sondern diese plötzlich in eine ihrer bisherigen Tätigkeit entgegengesetzte Richtung zwingt, und das wir demnach als ein Gefühl des Erleidens bezeichnen können. Den subjektiven Erscheinungen der Aufmerksamkeit steht nun als

ihre objektive Seite die Beziehung zu andern Bewußtseinsinhalten gegenüber, die wir oben mit Rücksicht auf diese Beziehung als die Objekte der Aufmerksamkeit zu bezeichnen pflegen. Diese objektive Beziehung gibt sich darin zu erkennen, daß der Zusammenhang der Vorgänge, der das Bewußtsein ausmacht, keineswegs in gleicher Weise zu jeder Zeit vorhanden ist, sondern daß bestimmte Inhalte bewußter sind als andere. Diese Eigenschaft läßt sich durch die Vergleiche mit dem Blickfeld des Auges verdeutlichen, indem man dabei von jener bildlichen Ausdrucksweise Gebrauch macht, die das Bewußtsein ein inneres Sehen nennt. Sagen wir von den in einem gegebenen Moment gegenwärtigen Vorstellungen, sie befänden sich im Blickfeld des Bewußtseins, so kann man denjenigen Teil des letzteren, dem die Aufmerksamkeit zugekehrt ist, als den inneren Blickpunkt bezeichnen. Den Eintritt einer Vorstellung in das innere Blickfeld wollen wir die Perzeption, ihren Eintritt in den Blickpunkt die Apperzeption nennen.

Der innere Blickpunkt kann sich nun successiv den verschiedenen Teilen des inneren Blickfeldes zuwenden, zugleich kann er sich jedoch, verschieden von dem Blickpunkt des äußeren Auges, verengern und erweitern, wobei immer seine Helligkeit zu- und abnimmt. Streng genommen ist er also kein Punkt, sondern ein Feld von etwas veränderlicher Ausdehnung. Immer jedoch bildet dieses Feld der Apperzeption eine einheitliche Vorstellung, indem wir die einzelnen Teile desselben zu einem Ganzen verbinden. So verbindet die Apperzeption eine Mehrheit von Schalleindrücken zu einer Klang- oder Geräuschvorstellung, eine Mehrzahl von Sehobjekten zu einem Gesichtsbild. Soll eine möglichst deutliche Auffassung stattfinden, so muß außerdem die Zahl der Bestandteile, aus denen sich die Vorstellung zusammensetzt, eine beschränkte sein. Je enger und heller hierbei der Blickpunkt ist, in um so größerem Dunkel befindet sich das übrige Blickfeld.

Unter den äußeren Einflüssen, welche die Apperzeption lenken, stehen Stärke der Eindrücke, Fixation der Gesichtsobjekte, Bewegung der Augen längs der begrenzenden Conturen in erster Linie. Aus einer Summe gleichzeitiger Eindrücke treten ferner vorzugsweise solche in den Blickpunkt des Bewußtseins, die kurz zuvor gesondert zur Vorstellung gelangt waren. So hören wir aus einem Zusammenklang einen vorher für sich angegebenen Ton besonders deutlich. Auf dieselbe Weise überzeugen wir uns von der Existenz der Obertöne und Combinationstöne. Wegen der Schwäche dieser Teiltöne vermögen wir in der Regel nicht mehr als einen einzigen auf einmal deutlich zu hören, da der Blickpunkt des Bewußtseins um so enger ist, je mehr die Aufmerksamkeit gespannt wird. Deutlich bemerkt man hierbei zugleich, daß der Grad der Apperzeption nicht nach der Stärke des äußeren Eindrucks, sondern nach der subjektiven Tätigkeit zu bemessen ist, durch die sich das Bewußtsein einem bestimmten Sinnesreize zuwendet.

Dies führt uns auf die inneren Bedingungen der Apperzeption. Gehen wir von den zuletzt besprochenen Beobachtungen aus, so kann das geübte Ohr einen schwachen Teilton eines Klanges bekanntlich auch dann wahrnehmen, wenn dieser ihm nicht zuvor als gesonderter Eindruck gegeben wurde. Bei näherer Beobachtung zeigt sich aber, daß man sich in diesem Fall nicht selten zunächst das Erinnerungsbild des zu hörenden Tones zurückzurufen sucht, um ihn deutlicher aus dem Klang herauszuhören. Ähnliches bemerkt man bei schwachen oder schnell vorübergehenden Gesichtseindrücken. Wird eine Zeichnung mit elektrischen Funken beleuchtet, die in Zeiträumen von einigen Sekunden auf einander folgen, so erkennt man nach dem ersten und manchmal auch nach dem zweiten und dritten Funken fast gar nichts. Aber das undeutliche Bild bleibt im Gedächtnis, jede folgende Erleuchtung vervollständigt dasselbe, und so gelingt allmählich eine klarere Auffassung. Diese Versuche zeigen, daß jeder Eindruck einer

gewissen Zeit bedarf, um zum Blickpunkt des Bewußtseins durchzudringen.

In allen diesen Erscheinungen verrät sich deutlich eine *Anpassung der Apperzeption an den Eindruck*. Die Überraschung durch unerwartete Reize entspringt wesentlich daraus, daß bei ihnen im Moment, wo der Eindruck erfolgt, eine solche Anpassung noch nicht eingetreten ist. Sie selbst ist aber eine doppelte: sie bezieht sich auf die Qualität und auf die Intensität der Reize. Verschiedenartige Sinneseindrücke bedürfen abweichender Anpassungen. Ebenso bemerken wir, daß der Grad der Spannungsgefühle gleichen Schritt hält mit der Stärke der Eindrücke. Von der Genauigkeit der eingetretenen Anpassung hängt dann die sogenannte *Schärfe der Aufmerksamkeit* ab. Die *Klarheit einer Vorstellung*, mag diese nur eine Sinneswahrnehmung oder ein Erinnerungsbild sein, wird dagegen gleichzeitig durch die Stärke ihrer Empfindungselemente und durch die Schärfe ihrer Apperzeption bedingt. Ein Eindruck muß stark genug sein, um eine deutliche Auffassung zuzulassen und gleichzeitig muß eine möglichst vollständige Anpassung der Apperzeption an ihn stattfinden. Vermöge beider Momente bildet eine mittlere Intensität der Empfindungen die günstigsten Bedingungen für die Klarheit der Vorstellungen, da auch die übermäßige Stärke eines Eindrucks die Anpassung an denselben erschwert. Neben der Klarheit ist endlich der Grad der *Deutlichkeit* eine wichtige Eigenschaft der apperzipierten Inhalte. Deutlich nennen wir eine Vorstellung, wenn sie von anderen im Bewußtsein anwesenden scharf unterschieden wird. Die Klarheit bezieht sich demnach auf die eigene Beschaffenheit der Vorstellungen, die Deutlichkeit auf ihr Verhältnis zu andern. Ein gewisser Grad der Klarheit ist zur Deutlichkeit erforderlich. Diese ist aber außerdem noch von anderen Bedingungen abhängig, welche die Unterscheidung der einzelnen Vorstellungen beeinflussen. Die Begriffe der Schärfe der Auffassung, der Klarheit und Deutlichkeit der Vorstellungen

sind demnach, wie sie ursprünglich der äußeren Sinnesempfindung entnommen sind, so auch in einer ähnlichen Bedeutung anzuwenden, wie hier. Wir sehen aber scharf, wenn unser Auge für den Lichteindruck gut adaptiert ist, wir sehen klar, wenn zu der richtigen Einstellung auch noch die zureichende Stärke des Lichtes hinzukommt, und wir sehen deutlich, wenn wir die einzelnen Gegenstände genau zu unterscheiden imstande sind.

Da die Stärke der Empfindungselemente einer Vorstellung auf die Klarheit einen zweifellosen Einfluß ausübt, so sind nicht selten beide Begriffe mit einander vermengt oder sogar für identisch gehalten worden. Streng genommen kann aber immer nur von der Stärke der Empfindungselemente, nicht von der Stärke einer Vorstellung die Rede sein, da in diese meist Empfindungsinhalte von sehr verschiedener Stärke eingehen. Umgekehrt dagegen sind Klarheit und Deutlichkeit ausschließlich Eigenschaften der Vorstellungen, die auf Empfindungen nur übertragen werden können, wenn diese als Vorstellungsbestandteile gedacht werden. Die wesentliche Verschiedenheit der Klarheit einer Vorstellung von der Stärke ihrer Empfindungsinhalte verrät sich vor allem auch darin, daß eine Zu- und Abnahme der Klarheit ohne eine gleichzeitige Zu- und Abnahme der Empfindungsstärke sehr wohl stattfinden kann. Dies ist besonders bei schwachen Eindrücken nachzuweisen, die der Reizschwelle nahe liegen. Bestünde die Klarheitszunahme in irgend einer regelmäßigen, wenn auch nur minimalen Verstärkung, so müßte sich solches in einer deutlichen Erhebung über die Reizschwelle, ebenso die Klarheitsabnahme in einem Sinken unter dieselbe verraten. Ein dunkler werdender schwacher Eindruck hört aber nicht auf wahrnehmbar zu sein, und das Klarerwerden desselben wird von einem Stärkerwerden in der Regel deutlich unterschieden."

Die Selbständigkeit der Klarheit einer Vorstellung gegenüber der Stärke ihrer Empfindungsinhalte, auf welche Wundt hier hinweist, findet durch den Grundversuch eine schöne und sehr gute Bestätigung. Ich möchte hierbei auf das Anschwellen des nach Ablauf der Pause wieder einsetzenden Stimmgabeltones hinweisen. Die Unabhängigkeit der soeben erwähnten Momente wird durch den Umstand ganz besonders erhärtet, daß in der von mir beobachteten Erscheinung eine Zunahme der Klarheit stattfindet, obgleich die Stimmgabel in dauerndem Abklingen begriffen ist, also die Empfindungsstärke, soweit sie von den äußeren Schallreizen abhängig ist, sich in der entgegengesetzten Richtung verändern müßte. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, was im ersten Teile über das Schwinden der Aufmerksamkeit konstanten Eindrücken gegenüber gesagt worden ist.

„Sind auf diese Weise Klarheit und Stärke der Eindrücke durchaus von einander verschieden, so wird demnach auch der Begriff der Reizschwelle, wenn wir ihn auf das Bewußtsein übertragen, hier eine doppelte Bedeutung annehmen müssen. Als Intensitätsschwelle, hat er die Bedeutung einer Bewußtseinsschwelle, insofern der Eintritt in das Bewußtsein oder die Perzeption einer Vorstellung von der Intensität ihres Empfindungsinhaltes abhängt. Davon verschieden ist aber die Klarheitsschwelle der Vorstellungen: sie ist eine Aufmerksamkeits- oder Apperzeptionsschwelle. Nur Eindrücke, die über der Intensitätsschwelle liegen, können die Apperzeptionsschwelle überschreiten, doch damit dies geschehe, muß die subjektive Funktion der Aufmerksamkeit hinzukommen. Wie der Eindruck, der die Perzeptionsschwelle überschritten hat, von da an noch alle Intensitätsgrade bis zur Reizhöhe durchlaufen kann, so kann der Eindruck, der sich über die Apperzeptionsschwelle erhebt, von da an noch verschiedene Grade der Klarheit erreichen. Ein Eindruck aber, der unter die Apperzeptionsschwelle gesunken ist, verschwindet damit noch nicht aus dem Bewußt

sein, und seine Fortexistenz in diesem kann daher in jedem Augenblick wieder Inhalt der Apperzeption werden. Auch wenn dies nicht geschieht, übt er jedoch, wie jeder Bewußtseinsinhalt auf die Aufmerksamkeit eine Gefühlswirkung aus, an der in der Regel sein Aufhören sofort bemerkt wird."

Erst an dieser Stelle, wo in den Ausführungen Wundts über Bewußtsein und Vorstellungsverlauf ein gewisser Abschluß erreicht ist, empfiehlt es sich, in größerem Umfange auf die eigenen Beobachtungen einzugehen.

Hier haben wir zuerst die wichtige Entscheidung zu treffen, ob der Eindruck, der durch die klingende Stimmgabel hervorgerufen wird, in den beobachteten Pausen über der Intensitätsschwelle liegt oder nicht. Man wird geneigt sein, diese Frage ohne weiteres zu bejahen, treten doch die Pausen bei Reizstärken auf, welche unter normalen Verhältnissen deutliche Empfindungen auslösen: aber es muß doch auch der positive Nachweis erbracht werden, daß innerhalb der Pausen in irgend einer Weise dieser überschwellige Eindruck sich im Bewußtsein bemerkbar macht. Ein Fingerzeig dazu, wie dies zu entscheiden war, bot mir die Bemerkung Wundts, welche in dem zuletzt zitierten Satze enthalten ist. Darnach muß jeder Eindruck, wenn er Bewußtseinsinhalt ist, wenn er also die Intensitäts- oder Bewußtseinsschwelle überschritten hat, auf die Aufmerksamkeit eine Gefühlswirkung ausüben, an der sein Aufhören (also auch das vorhergehende Bestehen) erkannt wird. Es war nun nicht mehr schwer, den in Frage stehenden Nachweis zu führen. Zu diesem Zwecke mußten also die Schwingungen der Gabelzinken innerhalb einer Pause plötzlich unterbrochen werden und man hatte dann einfach darauf zu achten, ob sich die Unterbrechung irgendwie im Bewußtsein bemerkbar machte; dabei mußte Sorge getragen werden, daß die die Unterbrechung bewirkende Manipulation selbst kein neues Geräusch erzeugte. Ich bediente mich eines Wattebäuschchens, mit welchem ich durch Aufdrücken auf die Zinkenenden den Klang geräuschlos zum Aufhören bringen konnte.

Dieser Versuch bedarf noch der Erwähnung eines besonderen Umstandes. Für seine Ausführung kamen naturgemäß nur größere Pausen in Frage, die aber erst in den letzten Stadien des verlöschenden Klanges eintraten. Ich benutzte dazu eine Stimmgabel (2048 v. d.), die etwa 25—28 Sekunden Schwingungsdauer besaß. Nach 18 Sekunden des Erklingens wurde der begleitende Monochordton unterbrochen und in der nun folgenden Pause von etwa 0,085 Sekunden (siehe Tab. 3) die obige Untersuchung angestellt. Da die Stimmgabel in diesem Moment ihrer Schwingungszeit schon außerordentlich schwach klang, so konnte der durch sie im Bewußtsein hervorgerufene Gefühlsausdruck auch nur sehr minimal sein. Der ganze Versuch erforderte denkbar günstige Nebenumstände, wie hohe Empfindlichkeit des Ohres und tiefe äußere Stille. Beide Bedingungen sind aber, wie ich schon früher erwähnt habe, am besten in der Nacht erfüllt.

Unter Berücksichtigung dieser Momente und in der oben angedeuteten Weise habe ich nun feststellen können, daß sich im Bewußtsein der Stimmgabelton auch noch in den Pausen bemerkbar macht. Er ruft zwar keine klare Vorstellung hervor, übt jedoch als Reiz, der über der Intensitätsschwelle liegt, eine gewisse Gefühlswirkung aus. Die Tonvorstellung kommt erst wieder zustande, wenn ein genügender Grad der Klarheit erreicht ist, wenn die Vorstellung also, um die Bezeichnungsweise Wundts zu gebrauchen, die Klarheits- oder Apperzeptionsschwelle überschritten hat. Wenn nun die ganze hier versuchte Erklärung richtig sein soll, so müssen sich alle jene Bedingungen, an welche die Klarheit einer Vorstellung gebunden ist, durch die Gesetzmäßigkeiten nachweisen lassen, die in den verschiedenen Pausenlängen zutage treten. Wie wir sahen, hängt die Klarheit einer Vorstellung in der Hauptsache von zwei Umständen ab, von der Stärke der Empfindungselemente und von der Schärfe der Apperzeption.

Der erste Punkt ist ohne weiteres einleuchtend. Die vorgenommenen Messungen haben seine Richtigkeit sehr gut

bestätigt. Bei der Ausführung benutzte ich eine Stimmgabel von der Frequenz (4096 v. d.), deren abnehmender Klang mit Unterbrechungen von verschieden starken Tönen der Galtonpfeife begleitet war. Bei dem Winddrucke 90 mm möge der Galtonton die Intensität A, bei einem andern von 240 mm die größere Intensität B gehabt haben. Die Resultate der quantitativen Untersuchung findet man in Tabelle 4 zusammengestellt. Zuerst möchte ich nochmals darauf hinweisen und was auch in dieser Tabelle zum Ausdruck kommen muß, daß ceteris paribus sich bei verschieden hohen Galtontönen dieselben Zahlenwerte sowohl für die Pausen als auch für die Maxima ergeben haben. Man muß natürlich gewisse Schwankungen, die aber innerhalb der Fehlergrenzen liegen, dabei einrechnen. Wenn wir aus dieser Tatsache das negative Resultat herleiteten, daß unter Anerkennung der Helmholtz'schen Resonanztheorie physiologische Faktoren bei den eigentümlichen Störungen in der Intensität des Stimmgabelklanges nicht wirksam sein können, so gestattet Tabelle 4 aber noch den positiven Schluß auf wirkende psychologische Ursachen. Mit abnehmender Intensität der Stimmgabel d. h. mit zunehmender Unterbrechungszeit, immer vom Anschlag der Stimmgabel gerechnet, nehmen die Pausen an Länge zu und entfernen sich die Maxima mehr und mehr zeitlich von den Unterbrechungsmomenten.

Diese Übereinstimmung beider Erscheinungen in ihrer funktionellen Abhängigkeit von der Intensität der Stimmgabelschwingung weist auf ihre nahe Verwandtschaft hin. Es sind beide nur verschiedene Grade in der Klarheit der Tonvorstellung. Jedoch darf man sich den Uebergang von einem Stadium zu dem andern nicht als einen vollkommen stetigen Vorgang denken. Sie werden durch die Klarheitsschwelle deutlich von einander geschieden, derart, daß man auf der einen Seite nur eine Gefühlswirkung, jenseits dagegen eine klare Tonvorstellung im Bewußtsein hat. Durch das plötzliche Auftreten der letzteren wird in der Zunahme der Klarheit

Tabelle 4 (Stimmgabel 4096 v. d.).

Pausen und Maxima bei zwei verschiedenen Intensitäten (A u. B) des unterbrochenen Begleittones.

(Vergl. Fig. 3.)

Unterbrechungszeit:	1640				2048				4096				6200			
	Intensität A		Intensität B		Intensität A		Intensität B		Intensität A		Intensität B		Intensität A		Intensität B	
	P.	M.	P.	M.	P.	M.	P.	M.	P.	M.	P.	M.	P.	M.	P.	M.
1	0,005	0,05	0,010	0,14	0,004	0,06	0,011	0,14	0,005	0,05	0,012	0,13	0,005	0,05	0,010	0,14
4	0,011	0,14	0,021	0,23	0,010	0,15	0,020	0,24	0,012	0,16	0,023	0,24	0,011	0,15	0,022	0,24
7	0,023	0,24	0,035	0,34	0,024	0,23	0,037	0,36	0,022	0,25	0,037	0,36	0,024	0,24	0,035	0,35
10	0,043	0,44	0,069	0,63	0,045	0,41	0,066	0,65	0,041	0,44	0,069	0,64	0,046	0,42	0,067	0,65

der Eindruck einer Unstetigkeit hervorgerufen, die man sich durch das momentane Gelingen der Apperzeption zu erklären hat.

Wir wollen nun die in der Tabelle 4 zum Ausdruck kommenden Tatsachen begründen, welche sich in der allmählichen Vergrößerung der Pausen zeigt. Die dabei wirksamen Ursachen lassen sich wegen der soeben dargelegten Verwandtschaft beider Phänomene ohne weiteres auch auf die im Grundversuch beobachteten Maxima ausdehnen. Mit abnehmender Intensität der Schallreize werden die Empfindungselemente der Tonvorstellung schwächer werden müssen. Die letztere kann aber nur in der Weise von den Empfindungselementen abhängig sein, daß sie in dem Falle, wo diese schwächer sind, auch einen geringeren Grad der Klarheit besitzt. In einem solchen Zustande wird sie störenden Einflüssen gegenüber, wie z. B. Vorhandensein anderer gleichzeitiger Vorstellungen, mehr zugänglich sein. Nach Beseitigung der hemmenden Einwirkungen ist dann eben eine längere Zeit erforderlich, damit die Vorstellung die Klarheitsschwelle wieder erreicht, als es der Fall sein würde, wenn schon ein hoher Grad der Klarheit vorhanden gewesen wäre; die Pausen müssen also in dem Maße zunehmen, als die Intensität der Zinkenschwingung an der Stimmgabel abnimmt.

Bei diesem Nachweis hatten wir unsere Aufmerksamkeit nur auf die Stärke der Schallreize gerichtet, welche von der Stimmgabel ausgingen. In dem folgenden Beweis, daß die Klarheit der Vorstellungen auch von der Schärfe der Aufmarksamkeit abhängt, haben wir die Intensität des Galtontones besonders ins Auge zu fassen. Tabelle 4 zeigt, daß die Pausen bei der geringeren Intensität A wesentlich kürzer sind, als bei der größeren B. Hier macht sich der Einfluß der Anpassung an den Eindruck bemerkbar, welche einen besonderen Akt der Apperzeption bildet. Je deutlicher und stärker der vorhergehende Ton der Galtonpfeife war, umso mehr muß er die Aufmerksamkeit auf sich gelenkt und von

der Stimmgabel abgelenkt haben. Der Blickpunkt des Bewußtseins ist auf den Begleitton konzentriert. Da sich der Blickpunkt, bildlich gesprochen, als ein Feld von veränderlicher Ausdehnung darstellte, dessen Helligkeit um so größer war, je mehr es sich verengerte, so leuchtet es ein, daß sich dabei das übrige Blickfeld, das ist die Gesamtheit aller andern gleichzeitig vorhandenen Bewußtseinsinhalte, in gleichem Maße verdunkeln muß. Setzt in einem derartigen Zustande der Konzentration auf einen vorhandenen Ton dieser plötzlich aus, so wird der Blickpunkt einer gewissen Zeit benötigen, um den im Blickfelde mit anderen Gegenständen des Bewußtseins vorhandenen Stimmgabelton gleichsam wieder aufzufinden. Es bedarf einer ganz neuen Einstellung des Bewußtseins, dessen Bestandteile der Blickpunkt durchmustern muß. Er muß sein vorher sehr kleines Feld erweitern, was um so schwieriger ist und um so längere Zeit dauert, je größer die Intensität des unterbrochenen Tones war, die Aufmerksamkeit kann sich gleichsam nicht so leicht von ihm losreißen. Es hat den Anschein als ob auch in unserem Vorstellungsverlauf ein gewisses Gesetz der Trägheit waltet.

Bei der Anpassung der Aufmerksamkeit an die viel schwächeren Empfindungselemente des Stimmgabeltones ist eine bestimmte Differenz zwischen der Intensität der letzteren und des Begleittones zu durchlaufen, die um so größer ist, je stärker der Ton der Galtonpfeife war. Dies wird besonders klar werden, wenn wir die erste und letzte Pause in einer Beobachtung einmal gesondert betrachten. Für die Intensität A gibt unsere Tabelle in der ersten Spalte bei den Unterbrechungszeiten 1 und 10 die beiden Werte 0,005 und 0,043, also eine Differenz in den Pausenlängen von 0,038 Sekunden an. Diese Differenz beträgt aber bei der größeren Intensität B des Galtontones 0,069—0,010 = 0,059, also beinahe das doppelte des vorigen Wertes. Dies ist doch wohl nur so zu erklären, daß der Unterschied in der Stärke zwischen Galtonpfeife und

Stimmgabel bei der Intensität B viel größer ist als bei der geringeren A.

Sodann weist der zuletzt angeführte Umstand auf ein neues Moment hin, daß bei der Anpassung an den Eindruck von Bedeutung ist. Die Intensität der Simmgabel nimmt doch nur in den ersten Sekunden des Schwingens sehr stark ab, während die Abnahme des Klanges später immer mehr verzögert vor sich geht. In Anlehnung an diese tatsächlichen Verhältnisse sollte man eigentlich vermuten, daß auch die Pausen gegen Ende der Klangzeit nur sehr wenig an Länge zunehmen könnten. Daß aber gerade das Gegenteil der Fall ist, weist auf besondere Schwierigkeiten hin, die hier in der Anpassung an den Eindruck hervortraten. Die Einstellung des Blickpunktes wird immer schwerer, je schwächer der Eindruck ist, und zwar nehmen hier die Schwierigkeiten sehr viel schneller zu als die Reizstärke abnimmt.

Diese so ungewöhnliche Verlängerung der Pausen, die mit der Abnahme des Stimmgabelklanges nicht gleichen Schritt hält, ist eine weitere Bestätigung der längst bekannten Tatsache, daß unser Ohr und ebenfalls alle übrigen Sinnesorgane auf Reize mittlerer Stärke am genauesten und bereitwilligsten reagieren und daß diese Fähigkeit nachläßt, wenn sich die Intensität der Eindrücke gegen die Mittelwerte ändert, sei es in der einen oder anderen Richtung.

„Steht es demnach fest, daß das Klarer- und das Stärkerwerden eines Eindrucks in vielen Fällen unabhängig vorkommende und subjektiv wohl zu unterscheidende Vorgänge sind, so schließt dies nun aber nicht aus, daß beide einen gewissen Einfluß auf einander äußern können. In Betreff des Einflusses der Stärke auf die Klarheit ist dies schon oben bemerkt worden: ein intensiver Eindruck wird in der Regel, sofern nicht besondere Dispositionen entgegen wirken, klarer apperzipiert als ein schwacher. Aber unzweifelhaft kann auch in der umgekehrten Richtung ein gewisser Einfluß

stattfinden. So bemerkt man, wenn ein Reiz das Bewußtsein bei großer Unaufmerksamkeit trifft und dann in gleicher Stärke wiederholt wird, wie z. B. beim unerwarteten Stundenschlag einer Turmuhr, daß der zweite Eindruck entschieden nicht bloß deutlicher, sondern scheinbar auch intensiver wahrgenommen wird. Das nämliche zeigt sich, wenn man sich willkürlich anstrengt, Erinnerungs-, und Phantasiebilder zu erwecken und möglichst intensiv im Bewußtsein festzuhalten. Die Fähigkeit hierzu ist freilich individuell sehr verschieden und manchen Personen scheint es überhaupt nur zu gelingen, zwar die Klarheit, nicht aber die Intensität solcher Erinnerungsbilder in merklichem Grade zu vergrößern. In vielen Fällen ist aber diese Fähigkeit vorhanden und sie scheint zuweilen so groß zu sein, daß das Phantasiebild schließlich die Stärke eines Phantasmas erreicht. Demnach zeigen auch diese Fälle deutlich, daß die Klarheits- und die Stärkezunahme keineswegs zusammenfallende Vorgänge sind. Denn die Zunahme der Klarheit geht hierbei stets derjenigen der Stärke voran, und die letztere kommt wohl immer erst nach längerer Zeit und in Begleitung starker Spannungsempfindungen zustande, wobei zugleich die Art der Muskelerregung genau der Form der apperzipierten Vorstellung entsprechen muß. So richten sich die eine Gesichtsvorstellung begleitenden Spannungsempfindungen des Auges nach den Begrenzungslinien des Gegenstandes: bei hohen und tiefen Tönen wechselt die Innervation des Trommelfellspanners und zumeist auch die gleichzeitige Innervation der Kehlkopfmuskeln. Diese Umstände machen es in höchstem Grade wahrscheinlich, daß jene unter bestimmten Bedingungen im Gefolge der Klarheitszunahme eintretende Verstärkung der Empfindung eine sekundäre Wirkung ist, die durch gewisse Begleiterscheinungen der Aufmerksamkeit herbeigeführt werden kann, aber nicht notwendig herbeigeführt werden muß. In der Tat legt die Erscheinung der begleitenden Muskelerregungen und Spannungsempfindungen eine Interpretation nahe, welche

die Art und Weise der gelegentlichen Verstärkungen der Empfindungen und die engen Grenzen, in denen sie eintritt, begreiflich machen dürfte. Wir werden uns nämlich offenbar diesen Vorgang am einfachsten als einen von den Muskelerregungen und Bewegungsempfindungen ausgehenden Assoziationsprozeß denken können. Mit den Spannungsempfindungen des Auges, z. B. assoziieren sich die entsprechenden Gesichtsvorstellungen und je mehr durch willkürliche Steigerung die Spannungsempfindung anwächst, umsomehr kann sich auch der Empfindungsinhalt des Erinnerungsbildes verstärken. Hierbei kommt nun aber wahrscheinlich noch eine andere Bedingung dieser Wirkung zu Hülfe. Je gespannter die Aufmerksamkeit ist, um so mehr beschränkt sie sich zugleich, wie oben bemerkt, auf eine einzige oder auf wenige mit einander zusammenhängende Vorstellungen. Diese Beschränkung kann psychologisch (und ohne Zweifel auch physiologisch) nur als ein Hemmungsvorgang aufgefaßt werden, durch den anderen Eindrücken die Apperzeption erschwert wird. Infolge dieser Hemmung wird sich dann aber auch die verstärkende Wirkung, welche die Spannungsempfindungen ausüben, einseitig auf die apperzipierte Vorstellung beschränken und einen Abfluß der Erregungen auf andere, assoziativ ebenfalls mit ihnen verbundene Erinnerungsbilder verhüten." Diese in dem Kapitel über Bewußtseins- und Vorstellungsverlauf den Schluß bildenden Ausführungen Wundts finden in dem Maximum des Grundversuches einen sehr schönen Beleg. Die mehrfach betonte Selbständigkeit und gegenseitige Unabhängigkeit von Stärke und Klarheit der Eindrücke trat uns schon deutlich in dem Anschwellen der Tonempfindung entgegen, die trotz gleichzeitigen Abnehmens der Schwingungsamplitude des tonerzeugenden Instrumentes auftrat. Als ein weiterer Beweis für die Richtigkeit der Wundt'schen Anschauungen kann ferner das Erreichen eines Maximums in der Stärke der Empfindung gelten. Für die Charakterisierung der Erscheinung verweise ich auf die früher gegebene

Beschreibung derselben und auf den dort geführten Nachweis, daß die Intensität der Tonvorstellungen mit dem Maximum tatsächlich über die Stärkegrade hinausgeht, die lediglich durch den äußeren Schallreiz bewirkt werden. Man kann daraus schließen, daß ein neuer Faktor hinzutreten muß, der eine solche Überschreitung der objektiven Verhältnisse verständlich macht. Hier macht sich der Einfluß der Klarheit auf die Stärke der Empfindung geltend, eine sekundäre Wirkung gewisser Begleiterscheinungen der Apperzeption. Um den in Rede stehenden Vorgang überhaupt zu bemerken, bedarf es einer außerordentlichen Anspannung der Aufmerksamkeit. Das Ohr wird geradezu gezwungen, seine besten Leistungen zu zeigen. Eine solche Maximalleistung des Organes ist von deutlich empfundenen Muskelerregungen und Spannungszuständen begleitet, die sich nach der Ansicht Wundt's mit der Tonvorstellung assoziieren. Wenn die Klarheit der letzteren bis zu einem Optimum gestiegen ist, so ist im Bewußtsein das kleine Feld des Blickpunktes auf ein Minimum konzentriert. Alle störenden Nebeneinflüsse sind ausgeschaltet, und die verstärkende Wirkung der Spannungsempfindung kommt dann allein der Tonempfindung zugute. So kommt das Maximum in der Stärke zustande, das deutlich über die gewöhnliche Intensität hinausragt, wie sie durch die äußeren Reize gewährleistet wird. Ganz besonders fiel mir dieses Phänomen bei sehr schwachem Klang der Stimmgabel auf. Auf eine derartige Erscheinung macht auch Stumpf in seiner Tonpsychologie[1]) aufmerksam, welche ich zum Schluß noch anführen will.

„In Bezug auf den Einfluß der Aufmerksamkeit und damit zusammenhängende Erscheinungen geben Stärkeurteile zu mehreren Untersuchungen besonderen Anlaß. Vor allem fragt sich, ob eine Veränderung der Empfindungsstärke durch Aufmerksamkeit möglich sei: bei sehr schwachen Empfindungen scheint dies unleugbar der Fall. Dieselben nehmen von dem

[1]) 1883, 1. Bd. pag. 373.

Moment an, in welchem sie Gegenstand der Aufmerksamkeit werden eine Zeit lang an Stärke zu. Bei dem bereits erwähnten unzählige Mal wiederkehrenden subjektiven Ton fis^3 (g^3) meines rechten Ohres hatte ich Gelegenheit, diese Fähigkeit willkürlicher Verstärkung, wenn derselbe ganz schwach war, häufig zu erproben. War er im Entstehen oder Verschwinden, so wurde er durch darauf gerichtete Aufmerksamkeit alsbald unverkennbar verstärkt (nicht etwa blos deutlicher, unterscheidbarer, dies war er schon im ersten Moment des Aufmerkens vollkommen). Die Verstärkung konnte ich herbeiführen nicht bloß durch eine Aktion im Ohre, die sich durch Muskelempfindungen kundgab und zugleich den Ton etwas erhöhte, sondern auch ohne diese Aktion und ohne Erhöhung. Diese letztere Weise der Verstärkung war aber nur bei geringer Stärke des Tones anwendbar: außerdem nur die erste. Andere hierher gehörige, einem jeden zugängliche Beobachtungen lassen sich an Obertönen machen. Es scheint allgemein gesprochen, daß Empfindungen, deren Stärke infolge irgend welcher Nebeneinflüsse geringer ist, als die nach der Größe der peripherischen Nervenerregung (abgesehen von erhöhter Reizbarkeit) sein könnte, durch gesteigerte Aufmerksamkeit dem entsprechenden Stärkegrade näher gebracht werden können."

Eigentliche Ermüdungserscheinungen beim Ohre.

§ 10. Versuche.

Die Untersuchung der Erscheinungen des Grundversuches haben zu dem einigermaßen überraschenden Resultat geführt, daß sich in ihnen keine eigentliche Ermüdung des Hörnerven, wie sie durch anatomische und physiologische Verhältnisse begründet wird, nachweisen läßt. Dies Resultat scheint die von manchen Seiten ausgesprochene Ansicht zu bestätigen, daß der Hörnerv mit seiner Endausbreitung im Cortischen Organ durch Reize von geringer oder mäßiger Stärke nicht

merklich zu ermüden sei.[1]) „Im allgemeinen (nämlich abgesehen von den höchsten Tönen) läßt sich sagen, daß das Hören viel langsamer vergeht als das Sehen. Genügt es ja, selbst einen lichtschwachen Punkt einige Minuten zu fixieren, um ihn nicht mehr zu sehen, während man einen Ton stundenlang ohne beträchtliche Einbuße der Hörkraft hören kann. So erfolgt denn auch die Erholung rascher beim Ohre. Nach wenigen Sekunden ist der Nerv von nicht überstarken Reizen vollständig erholt, bei den höchsten Tönen genügt ein Augenblick, z. B. rasches Vorüberziehen der Hand zwischen dem Instrumente und dem Ohre, um den Ton wieder hörbar zu machen. Es scheint durch sehr schwache kontinuierliche Reize sowohl als durch intermittierende von mittlerer Stärke die Hörschärfe auf gleicher Stufe erhalten zu werden, finden ja minimale innere Reizungen wirklich immerfort statt". In dem gleichen Sinne äußert sich auch K. L. Schäfer in Nagels Handbuch der Physiologie.[2]) Eine solche Auffassung mußte Platz greifen, so lange es noch an überzeugenden Versuchen fehlte, die für eine Herabsetzung der Hörschärfe auch in den Fällen sprachen, wo Schallreize mittlerer Intensität auf das Ohr einwirken. Daß dies dennoch stattfindet, dafür hoffe ich in diesem Teile meiner Arbeit den Beweis zu erbringen.

Unter den mancherlei Methoden, die Ermüdbarkeit des Hörnerven zu konstatieren, ist die von Urbantschitsch angewandte wohl die beste. Er benutzte bei seinen Untersuchungen als Kriterium die Hörbarkeitsdauer einer verklingenden Stimmgabel. Jedoch vermag ich nicht in allen Punkten den von ihm getroffenen Versuchsanordnungen zuzustimmen. (Vergl. S. 20). Ich kann z. B. nicht gut glauben, daß durch so einfache äußere Mittel, wie die Verwendung ungleich leitender Zuleitungsschläuche, eine hinreichende Gleich-

[1]) Stumpf, Tonpsychologie. 1883, 1. Bd. pag. 362.
[2]) Bd. 3. pag. 509. 1903.

heit in der Perzeptionsfähigkeit beider Ohren erreicht werden kann, die eine Beurteilung der Leistungen eines Ohres durch die des andern rechtfertigt. Dies gilt in ganz besonderem Maße bei so schwachen Schallreizen, wie sie von Urbantschitsch zu beobachten waren. Dazu kommt als weiteres Moment, daß seine Versuchsweise gerade in dem Klangstadium einer verlöschenden Stimmgabel mancherlei Manipulationen nötig machte, welche ein Wandern der Aufmerksamkeit von einem Gegenstande des Bewußtseins zum andern und eine daraus resultierende Schwankung in der Klarheit der Tonvorstellung bedingen mußten. Wenn Urbantschitsch immerhin zu richtigen Ergebnissen gelangte, so lag dies weniger an der von ihm angewandten Methode als vielmehr an der Deutlichkeit, mit der bei seinem Versuch das Phänomen der Ermüdung dank der vorhergehenden, sehr starken Schalleinwirkungen auftrat. Es ist mir auf diese Weise nicht gelungen, eine Verringerung in der Leistungsfähigkeit des Ohres nach Reizen mittlerer Intensität festzustellen.

Ich habe mir daher ein neues, bisher nicht angewandtes Verfahren ausgesonnen, wodurch sich das Problem gleichsam auf indirektem Wege in Angriff nehmen ließ. Die Frage, die ich mir stellte, war folgende: ist es wohl möglich, durch irgend welche Hilfsmittel den Hörnerv während der Zeit sich ausruhen zu lassen, in der ihm eine Stimmgabel Schallreize zusendet? Eine derartige Einwirkung müßte sich dann in einer Verlängerung der Klangdauer zu erkennen geben.

Ist die Frage erst einmal richtig formuliert, so bietet die Lösung des Problems in den meisten Fällen keine großen Schwierigkeiten mehr. Es ist mir denn auch bald gelungen, ein geeignetes Hilfsmittel ausfindig zu machen, welches die gewünschte Wirkung hervorbrachte.

Ich ließ mich dabei von folgenden theoretischen Erwägungen leiten. Wenn man dem Ohre gleichzeitig mit dem Ton einer Stimmgabel einen anderen, sei es höheren oder

tieferen, doch nicht zu weit abliegenden Ton zuführt, so wäre es sehr wohl denkbar, daß sich die beiden durch Mitschwingen hervorgerufenen Erregungen an der Basilarmembran gegenseitig beeinflussen. Man hätte sich diesen Einfluß etwa so zu denken, daß durch Schwingungen einer Stelle der membrana basilaris die benachbarten Teile in ihren Eigenfrequenzen mehr oder weniger stark verändert werden. Die Folge davon wäre, daß in dem Falle, wo zu einer schon vorhandenen Schallerregung eine zweite tritt, sich die erregte Stelle der Membran etwas gegen die ursprüngliche verschiebt. Wird der Nebenton unterbrochen, so müßten sich dann die vorerst vorhandenen Verhältnisse wieder einstellen. Daß wir in der Regel solche Verschiebungen nicht an einer veränderten Tonhöhe bemerken, kann daran liegen, daß sie sehr gering sind. Auf diese Weise kann immerhin die Fortleitung einer Erregung anderen Nervenfibrillen übertragen werden und zwar denen, welche den neu erregten Stellen zugeordnet sind. Wird z. B. durch Unterbrechung des Begleittones die Erregung einer abklingenden Stimmgabel wieder auf die normale Stelle der Membran zurückgeleitet, so würden die bisher gar nicht oder nur sehr schwach miterregten Nervenenden, die also noch nicht ermüdet sind, viel schwächere Reize zu perzipieren imstande sein, als bei vorhergehender ununterbrochener Beanspruchung. Dies müßte sich in einer Verlängerung der Hörbarkeitsdauer der Stimmgabel zu erkennen geben.

Auf die Begründung der Erscheinung werde ich weiter unten ausführlicher eingehen, vorerst möchte ich meine Versuche beschreiben. Die ersten Beobachtungen dieser Art machte ich an einer Stimmgabel mit der Schwingungszahl 2048 v. d. Durch möglichst gleich starkes Anschlagen suchte ich eine nahe zu unveränderte Klangdauer für eine Versuchsreihe zu erzielen. Nach einiger Übung hatte ich eine hinreichende Sicherheit darin erlangt, so daß die Hörbarkeitsdauer der Gabel noch nicht ganz $^1/_2$ Sek. gegen den Mittelwert abwich

welcher für diese Gabel 26,3 Sek. betrug. Nun wurde der eigentliche Versuch in der oben geschilderten Weise vorgenommen. Sofort nach dem Erklingen der Stimmgabel wurde auf dem Monochord ein Ton (z. B. 2323 v. d.) mäßig stark angerieben. Nachdem beide Töne etwa 26 Sek. gleichzeitig auf das Ohr eingewirkt hatten, wurde der Longitudinalton durch Anhalten des reibenden Wolläppchens plötzlich unterbrochen. Die Stimmgabel war darauf noch etwa 5 Sek. vernehmbar. Diese immerhin bedeutende Verlängerung der Hörbarkeitsdauer konnte ich nur auf eine Einwirkung des Monochordtones zurückführen, da sich bei dieser Erscheinung — im Gegensatz zu der des ersten Grundversuches im ersten Teile meiner Arbeit — eine Abhängigkeit von Höhe und Stärke des Begleittones herausstellte.

Die Abhängigkeit von der Intensität des Nebentones festzustellen, bediente ich mich wieder der Galtonpfeife, mit deren Hilfe ich sehr einfach einen Ton in zwei verschiedenen Intensitäten erzeugen konnte. Es mögen wieder wie früher die beiden Intensitäten A und B geherrscht haben und zwar war A kleiner als B. Für drei Stimmgabeln von verschiedener Höhe und Dämpfung fand ich die in Tabelle 5 zusammengestellten Werte.

Wie man sieht, ist die Zunahme der Klangzeit für die schwächer gedämpfte Gabel (2048) eine bedeutendere als bei derjenigen mit größerer Dämpfung (4096), wie es natürlich auch sein muß. Daß dies tatsächlich so ist und nicht etwa mit der Tonhöhe der Stimmgabel zusammenhängt, wird durch die Zahlenwerte der Gabel (1024) bestätigt. Sie steht der Schwingungszahl nach an letzter Stelle, dagegen mit einer gewöhnlichen Klangdauer von 13,5 Sek. in der Mitte und mit einer Verlängerung der Hördauer von 2,7 bezw. 4,2 Sek. ebenfalls in der Mitte, da die letzteren Werte für die Gabel (4096): 2,35 bezw. 3,55 Sek. und für die Gabel (2048): 4,4 bezw. 7,1 Sek. betragen.

In der Hauptsache läßt sich das in Tabelle 5 zum Ausdruck kommende Gesetz so aussprechen: Bei stärkerem

Tabelle 5.

Schwingungszahl des Begleittones	Schwing.-zahl der Stimmgabel	Hörbarkeitsdauer der Gabel in Sekunden ohne Begleitton	Hörbarkeitsdauer mit Begleitton	
			Intensität A	Intensität B
		Gefunden	Gefunden	Gefunden
2323	2048	26	30,5	34
		27	31,5	33,5
		26,5	31	33
		25,5	30,5	33,5
		26,5	30	33
		Mittel 26,3	Mittel 30,7	Mittel 33,4
2461	4096	10	13,5	15,25
		12	14,25	15,5
		11,5	14,5	15,5
		12,5	14	15,5
		13	14,5	15
		Mittel 11,8	Mittel 14,15	Mittel 15,35
2323	1024	13,5	15,75	17,25
		12,75	16,5	18
		14,25	15,75	18
		13,5	16,5	18
		13,5	16,5	17,25
		Mittel 13,5	Mittel 16,2	Mittel 17,7

Begleitton wird die Hörbarkeitsdauer einer Stimmgabel ceteris paribus größer als bei schwächerem.

Es lag nun die Vermutung nahe, daß das ganze Phänomen in irgend einer Weise auch von der Höhe des Nebentones abhängig sein müsse. Für diese spezielle Untersuchung habe ich mich der bequemeren Handhabung wegen wieder des Monochordes bedient. Die Hörbarkeitsdauer der Stimmgabel wurde bei Longitudinaltönen verschiedenster Höhe ermittelt. Die hierbei gefundenen Werte sind in Tabelle 6 zusammengestellt. In der ersten Horizontalreihe sind die Schwingungszahlen der Begleittöne eingetragen, welche im allgemeinen in Intervallen von einem halben Ton fortschreiten. Eine Ausnahme bildet nur die Stelle 2048 bezw. 4096, wo Neben- und Stimmgabelton unisono sind, weil deren Untersuchung besondere Aufmerksamkeit erheischte. Die sehr starke Zunahme der Hördauer an diesen Stellen ist wohl auf Resonanz zurückzuführen. Die ermittelten Werte für die Klangdauer der beiden Stimmgabeln sind als Ordinaten in Fig. 4 eingetragen. Durch Verbindung der einzelnen Punkte sind so die beiden eigenartigen Kurven entstanden, welche zeigen, daß die Hördauer einer abklingenden Gabel von der Höhe des Begleittones abhängig ist. Ich konnte diese Abhängigkeit nur in dem Tonbereiche untersuchen, der mir durch das Monochord als gegeben vorlag. Man erkennt sofort aus dem Verlauf der Kurven, daß die Hörbarkeit einer Stimmgabel durch einen gleichzeitigen Nebenton im allgemeinen verlängert wird. Eine eingehende Diskussion der Kurven folgt im nächsten Abschnitt, der zugleich eine Begründung der Erscheinung anstrebt.

§ 11. Zur Begründung dieser Erscheinung.

Im Folgenden möchte ich versuchen, die Erscheinung der Klangdauerverlängerung einer Stimmgabel zu erklären. Zu diesem Zwecke erscheint es geboten, an die in Figur 4 graphisch dargestellten Beobachtungsergebnisse anzuknüpfen.

Tabelle 6.

Begleitton	Hördauer der Stimmgabel 2048 v. d.					Hördauer der Stimmgabel 4096 v. d.				
	Gefundene Werte				Mittel	Gefundene Werte				Mittel
8276	28		27,5	27,5	83,0	27,67	13	13	12,5	38,5	12,83
7812											
7374	27,5		28,5	27,5	83,5	27,83	13	12,5	13	38,5	12,83
6960											
6570	28		28	27,5	83,5	27,83	13	13	13,5	39,5	13,17
6200											
5852	28,5		28	28	84,5	28,17	13,5	14	13,5	41,0	13,67
5524	28		29	29	86,0	28,67					
5214	29,5		29	29,5	88,0	29,33	14	14	14	42,0	14,00
4923	31,5		30,5	31	93,0	31,00	14,25	14	14	42,25	14,08
4646	32		32	32	96,0	32,0	14,5	14,5	14,5	43,5	14,50
4384	32,5		32	32	96,5	32,17	14	14,25	14,5	42,25	14,25
4096	28,5		28	28,5	85,0	28,33	19	19	17	55,0	18,33
3906	30,5		30	31	91,5	30,50	14	14	13,75	41,75	13,92
3687	31,5		31,5	31	94,0	31,33	14	14,25	14,25	42,5	14,17
3480	31		29,5	30	90,5	30,17	14,25	14,25	14,25	42,75	14,25
3285	31		31	31,5	93,5	31,17	14,5	14,25	14,25	43,0	14,33
3100	31		30,5	31,5	93,0	31,00	14,25	14,5	14,25	43,0	14,33
2926	31		31	31	93,0	31,00	14,25	14,5	14,5	43,25	14,42
2762	34		33	31,5	98,5	32,82	14,5	14,25	15	43,75	14,58
2607	34		33,5	33	100,5	33,50	15	15,5	15	45,5	15,17
2461	33		34	33,5	100,5	33,50	15,5	15,25	15,5	46,25	15,42
2323	33		33,5	33	99,5	33,17	15,5	16	15,75	47.25	15,75
2192	31,5		32	31,5	95,0	31,67	14,5	14,5	15	44,0	14,67
2048	36,5		40	44	120,5	40,17	14,5	14,5	13,75	42,75	14,25
1953	32,5		31	31,5	95,6	31,67	14,25	14,25	14,5	43,0	14,33
1843	32		33	31,5	96,5	32,17	14,5	14,75	14,5	43.75	14,58
1740	33,5		33,5	33	99,0	33,00	14	14,75	14,5	43.25	14,42
1642	34		35,5	34	103,5	34,50	13,5	14,5	14,25	42,25	14,08

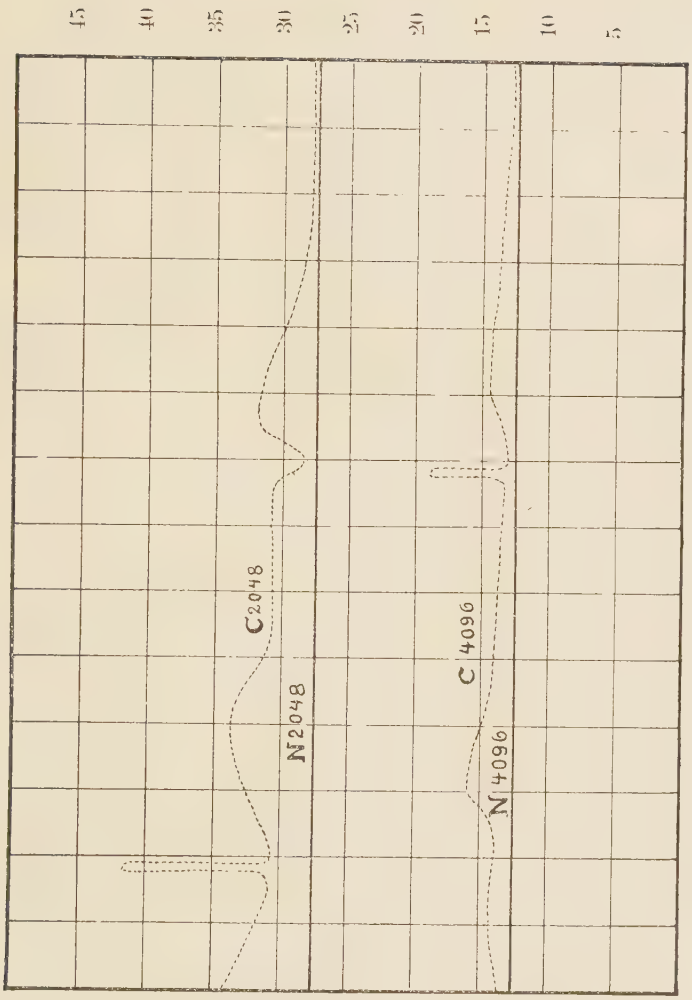


Fig. 4.

Abſciſſen: Schwingungszahlen des Begleittones in Intervallen von 1 ganzen Ton folgend.

Ordinaten: Hörbarkeitsdauer der Stimmgabel in ſec.

Die normale Hördauer, unter welcher ich diejenige verstehe, welche sich bei einem Anschlag der Stimmgabel von bestimmter Stärke ergab, wenn kein Begleitton vorhanden war, ist durch die Geraden N. 2048 und N. 4096 wiedergegeben. Die durch die Einwirkung des Begleittones hervorgerufene größere Klangdauer wird durch die Kurven C. 2048 und C. 4096 dargestellt. Die Verlängerung der Hördauer zeigt sich darin, daß die C-Kurven über den N-Kurven verlaufen. Für die ersteren ist in ihrer Abhängigkeit von den Abszissen ein Dreifaches bemerkenswert. Zunächst möchte ich auf das Minimum hinweisen, das z. B. für die Stimmgabel 2048 bei dem gleich hohen Begleitton auftritt. Es wird in der Kurve C. 2048 erkennbar, wenn wir uns die durch Resonanz bewirkte Abweichung an der Stelle 2048 fortdenken. Dieses keineswegs zufällige Zusammenfallen — bei der Gabel 4096 befindet sich ebenfalls ein Minimum an der Abszisse 4096 — legt die Vermutung nahe, daß sich in dem wechselvollen Verlauf der Kurve eine Ermüdung des Hörnerven in verschiedenem Grade zu erkennen gibt, die für das Unisono also ein Maximum wäre. Die dem Gleichklang entsprechende Endfaser des Hörnerven wird von den Reizen zweier Schallquellen angegriffen, mithin im Vergleich zu allen anderen Möglichkeiten, in denen Stimmgabel und Monochord verschiedene Tonhöhe haben, in maximaler Weise beansprucht: so wird es verständlich, warum an diesen Stellen ein Minimum auftreten muß. Der wirkliche Betrag desselben war natürlich nicht zu ermitteln, weil durch die Resonanz die Untersuchung hier unmöglich wurde. Man darf vermuten, daß an solchen Stellen die Hördauer sogar unter den normalen Betrag herabsinkt. Die Ansicht, daß eine stärkere Erregung einer Nervenfibrille der Grundmembran auch eine größere Ermüdung des Ohres zur Folge hat, kann man durch folgenden Versuch bestätigen, der von Herrn Professor F. Richarz mir angegeben worden ist. Man ermittelt zuerst wieder die normale Klangdauer einer Stimmgabel. Alsdann

steckt man sich Watte in beide Ohren, die man genau am Ende der normalen Hörbarkeitsdauer plötzlich aus beiden Ohren herauszieht. Die Stimmgabel ist dann noch kurze Zeit vernehmbar. So ergaben sich für 3 verschieden gedämpfte Gabeln folgende Werte:

13,2 und 13,4;
20,7—22,5;
22,1—24,6.

Die erste Zahl ist die normale Klangdauer, die zweite jedesmal die verlängerte Klangzeit. Man sieht, daß die Verlängerung um so größer ist, je größer die normale Klangdauer, also je geringer die Dämpfung der Schwingung ist, wie man auch erwarten muß. Kleinste Werte wurden für jede C-Kurve außerdem noch an einer zweiten Stelle beobachtet, über welche weiter unten die Rede sein wird.

In zweiter Linie sind die beiden Maxima, welche durch das Minimum getrennt liegen, zu beachten. Besonders fiel mir auf, daß das in jeder Kurve rechts liegende Maximum an einer solchen Stelle war, wo der durch beide Töne hervorgerufene Differenzton besonders stark auftrat.

Für die Kurve C 2048 könnte man sich z. B. das schon eben erwähnte Minimum an der Abszisse 4096 durch Einwirkung des dort entstehenden Differenztones 2048 entstanden denken, der die durch die Stimmgabel in Schwingung versetzte Stelle der Grundmembran ebenfalls angreift. Ob sich die bloß vermutungsweise ausgesprochene Ansicht bestätigen wird, daß Differenztöne bei dem Phänomen der Klangdauerverlängerung beteiligt sind, muß noch abgewartet werden, zumal wir noch wenig Zuverlässiges über die Entstehung der Kombinationstöne wissen. Das Minimum in der Kurve C 4096 an der Abszisse 2048 läßt sich dagegen nicht in dieser Weise erklären. Es wäre möglich, daß durch Mitschwingen die Stelle 4096 durch den Ton 2048 stärker erregt wird, da ersterer gerade den doppelten Betrag der Schwingungszahl von letzterem ist, die Miterregungen folgen in einem solchen

Rythmus, daß eine Vergrößerung der Schwingungsweite der Membranstelle 4096 eintritt. Endlich ist noch eine dritte Besonderheit in den Kurven C zu erwähnen, die in der asymptotischen Annäherung an die normale Hörbarkeitsdauer hervortritt. Je weiter sich der Nebenton in seiner Frequenz von der Stimmgabel entfernt, um so weniger wird deren Klangdauer durch ihn beeinflußt. Der Einfluß bleibt aber immerhin noch merklich, selbst nach solchen Intervallen, für welche Differenztöne nicht mehr beobachtet worden sind. Die obere Grenze für die Bildung eines subjektiven Differenztones zwischen zwei Primärtönen, von denen der tiefere z. B. 2048 v. d. besitzt, läge nach der von R. König aufgestellten Tabelle etwa bei der Schwingungszahl 5000, noch höhere Töne erzeugen mit dem angegebenen tieferen keine derartigen Kombinationstöne mehr. Trotzdem ist die Hörbarkeitsdauer der Stimmgabel 2048 bei dem Begleitton 5214 um rund 4 Sek. größer als beim Fehlen dieses Tones. Bei der Beachtung dieser Tatsache sehen wir uns schon genötigt, zur Begründung unseres Phänomens ein anderes Moment heranzuziehen.

Ich stütze mich dabei wieder auf die Resonanzhypothese von Helmholtz und zwar in der durch Hensen modifizierten Gestalt. Nach den Forschungen des zuletzt genannten Gelehrten verdankt die Basilarmembran ihre Fähigkeit, aus einer gegebenen zusammengesetzten Klangmasse die einfachen Schwingungen auszusondern, vor allem dem Umstand, daß sie in der Länge schwächer gespannt ist als in der Quere. Da die Membran ferner gegen die Kuppel der Schnecke an Breite zunimmt, so müssen infolge der stärkeren queren Spannung die einzelnen Teile wie Klaviersaiten wirken, die auch durch Resonanz allein in Schwingung geraten können. Jedoch muß sehr wohl beachtet werden, daß die Membran eine kotinuierliche Masse bildet und sich nicht etwa aus einer Anzahl gesonderter Querfasern zusammensetzt. Man hat immerhin die stille Voraussetzung zu machen, daß bei der Schwingung

eines linearen Teiles der Membran benachbarte Teile in Mitterregung versetzt werden. Auf Grund dieses Faktums ist z. B. auch die Begründung der Kontinuität in dem durch unser Ohr vermittelten Tonbereiche versucht worden. Ich möchte sogar behaupten, daß sich ein derartiger Einfluß nicht allein auf die dem schwingenden Teile nächst benachbarten Querstreifen der Membran sondern sogar auf deren Gesamtausbreitung erstreckt. Zwei von einander getrennte Erregungen an der Grundmembran würden dann nicht eben so viele unabhängige Schwingungssysteme für sich bilden können, sondern mit einander verkoppelt sein. Wir werden also durch das Phänomen der Verlängerung der Hörbarkeitsdauer einer Stimmgabel auf die Theorie der gekoppelten Schwingungssysteme geführt. Auf diese Theorie will ich hier nicht ausführlich eingehen, ich verweise für ein weiteres Eindringen auf das kürzlich erschienene, vortreffliche Werkchen von Dr. Alfred Kalähne,[1]) das am Schlusse des ersten bisher erschienenen Teiles die Theorie der gekoppelten Schwingungen in den Grundzügen bringt. Sie ist dort aus den Vorstellungen der Mechanik punktförmiger Systeme entwickelt. Doch darf man wohl dieselben dort entwickelten Gleichungen auch auf unser, aus kontinuierlicher Masse bestehendes System anwenden, da dieses so beschaffen ist, daß seine Bewegung durch eine einzige Größe x_1 oder x_2 bestimmt werden kann, die man dann als verallgemeinerte Koordinate einzuführen hat.

Sehen wir von äußeren eingeprägten Kräften ganz ab, so hängen die Kräfte, die an ein Massenteilchen der Membran angreifen, nicht bloß von dessen Lage und Geschwindigkeit ab, sondern auch von andern Massenpunkten, die etwa durch einen zweiten Ton bewegt werden. In die Bewegungsgleichung für den materiellen Punkt 1 geht somit nicht allein dessen Koordinate x_1 oder dessen Geschwindigkeit $\frac{dx_1}{dt}$ ein,

[1]) Grundzüge der mathem.-physikal. Akustik. I. 1910.

sondern auch die entsprechenden Größen x_2 und $\frac{dx_2}{dt}$ des Massenpunktes 2.

Die Theorie der gekoppelten Schwingungen lehrt, daß in einem solchen gekoppelten System, welches sich aus zwei Teilsystemen mit je einem Freiheitsgrad der Bewegung zusammensetzt, jedes einzelne in der Weise für sich schwingt, daß die Schwingung durch Übereinanderlagerung von zwei Sinusschwingungen gebildet wird, deren Dämpfungen und Schwingungszahlen für das einzelne System zwar verschieden sind, aber in dem andern sich wiederholen. „Jedes System führt freie Schwingungen nach seiner (durch die Koppelung etwas geänderten) Eigenperiode und zugleich erzwungene Schwingungen der (ebenfalls etwas geänderten) Eigenperiode des andern Systems aus".[1]) Die Koppelung bewirkt ein Auseinanderrücken der Schwingungszahlen, derart, daß die kleinere des einen freien Systems verkleinert, die größere des anderen freien Systems vergrößert wird.

Die Theorie der gekoppelten Schwingungen macht die von mir gefundene Erscheinung der Verlängerung der Hörbarkeitsdauer einer verklingenden Stimmgabel verständlich. Durch die gleichzeitige Einwirkung von zwei Schallreizen unterschiedlicher Frequenz auf die Basilarmembran werden die Eigenschwingungen ihrer einzelnen Teile mehr oder weniger geändert. Die Folge davon ist, daß bei einer fortdauernd von außen einwirkenden eingeprägten Kraft, wie sie z. B. durch die Schwingungen der Stimmgabelzinken erzeugt wird, je nach den Umständen verschiedene Teile der Lamina basilaris und somit auch verschiedene Nervenfibrillen in Erregung versetzt werden können. So kann nach Aufhören eines gleichzeitigen Nebentones die Fortleitung des Stimmgabeltones auf eine andere Nervenfaser, die bisher ganz oder teilweise unbeteiligt war, übergehen, die nun eine größere Leistungsfähigkeit besitzen muß, als wenn sie schon eine Zeit lang gereizt worden wäre. Sie hat sich gleichsam

[1]) Kahlähne, Mathem.-phys. Akustfk, 1910. I. 9. 114.

ausgeruht und vermag dann selbst sehr schwache Impulse zu vernehmen, die ihr im ermüdeten Zustande entgangen wären, die Stimmgabel wird so einige Sekunden länger gehört. Wie schon eben bemerkt, muß man noch die Annahme hinzunehmen, daß die durch diese Verschiebung der erregten Membranstelle bedingte Änderung in der Tonhöhe so gering ist, daß wir sie nicht wahrnehmen können. Dies ließe sich dadurch erklären, daß wir an der Basilarmembran mehr Nervenfibrillen besitzen, als wir Töne verschiedener Höhe zwischen den musikalisch wahrnehmbaren Tongrenzen zu unterscheiden imstande sind. Das kleinste Intervall, das wir noch als solches aufzufassen vermögen, hat den Wert 81 : 80. Von dem tiefsten musikalisch empfundenen Ton (30 v. d.) bis zur oberen Hörgrenze (20000 v. d.) könnte man nach dieser Annahme etwa 520 verschiedene hohe Töne der Reihe nach auffassen. Die Zahl der Nervenfibrillen ist aber viel größer.

Die allmähliche Abnahme der Hörbarkeitsdauer bei zunehmender Höhe des Begleittones läßt es wahrscheinlich erscheinen, daß die Kraftkoppelung mit zunehmender Tondifferenz beider Töne geringer wird. Dies ist auch verständlich, weil sich in diesem Falle zwischen den schwingenden Teilen die Entfernung auf der Grundmembran vergrößert und daher die Abhängigkeit beider Schwingungen voneinander verringern muß.

Aus alledem ist ersichtlich, daß durch die Einwirkung eines einige Zeit anhaltenden Tones das Ohr ermüdet wird und diese Ermüdung sich nur für den Ton bemerkbar macht, der die Herabsetzung der Hörschärfe bewirkte. Man hatte diese Erscheinung bisher immer nur nach Tönen großer Intensität beobachten können, wofür man den Grund in der Anordnung der Experimente zu suchen hat, die der Feststellung der Erscheinung dienten. Dies gilt im besonderen auch von den Versuchen Urbantschitschs. So konnte die eigentlich befremdliche Ansicht entstehen, daß das Ohr durch Reize mittlerer Intensität, selbst wenn diese stundenlang anhielten,

entweder gar nicht oder doch nur unmerklich zu ermüden sei. Diese Auffassung dürfte doch wohl angesichts der Ergebnisse meiner Untersuchungen in etwa erschüttert sein. Ich habe bei der Ermittelung der Kurven (Fig. 4) die Stimmgabeln absichtlich immer nur mäßig stark angeschlagen und trotzdem gegenüber der normalen Zeit des Abklingens eine Verlängerung der Hörbarkeitsdauer festzustellen vermocht, die den Rückschluß auf eine Ermüdung des Akustikus gestattete.

So tritt also die Ermüdung des Ohres als eine Verminderung der Hörschärfe in die Erscheinung, als eine Verschiebung der Intensitätsschwelle nach der Seite größerer Reize. Urbantschitsch vermochte dies nachzuweisen, indem er das nachträgliche Zurückwandern der Reizschwelle zeigen konnte, ich habe es aus der Beurteilung der gesamten Hördauer der verklingenden Stimmgabel erschlossen.

Zum Schluß führe ich noch eine Bemerkung von Stumpf an, die mit meiner Untersuchung in sachlichem Zusammenhang steht. „Es scheint, allgemein gesprochen, daß Empfindungen, deren Stärke infolge irgendwelcher Nebeneinflüsse geringer ist, als sie nach der Größe der peripherischen Nervenerregung (abgesehen von erhöhter Reizbarkeit) sein könnte, durch gesteigerte Aufmerksamkeit dem entsprechenden Stärkegrade näher gebracht werden können. Von jenen Nebeneinflüssen ist ein Teil rein organischer Natur ohne Repräsentation im Bewußtsein (Leitungswiderstände), ein anderer Teil besteht in den gleichzeitigen Tönen und Geräuschen, denn gleichzeitige Schalleindrücke scheinen sich gegenseitig an der Empfinduugsstärke einen Abbruch zu tun, was natürlich ebenfalls in noch nicht erforschten physiologischen Prozessen gründet“ [1]). Ich hoffe durch meine Arbeit etwas dazu beigetragen zu haben, eine solche Beeinträchtigung der Empfindungsstärke zweier gleichzeitiger Töne verständlich zu machen.

[1]) Stumpf, Tonpsychologie. 1. Bd. (1883) pag. 374.

Kurze Zusammenstellung der Resultate.

§ 12.

Im allgemeinen darf man wohl die experimentelle Bestätigung des Einflusses der Aufmerksamkeit auf den Verlauf der Gehörswahrnehmungen als das wichtigste Ergebnis des ersten Teiles meiner Arbeit bezeichnen. Hinsichtlich eines derartigen Einflusses habe ich durch meine Arbeit folgende Punkte festzustellen vermocht.

1. Dadurch, daß die Intensität der Empfindung selbst über die objektiv vorhandenen Reizverhältnisse hinauszuschreiten vermag, wird in dem Zustandekommen einer Vorstellung aus den einzelnen Empfindungselementen die Spontaneität unserer Bewußtseinsvorgänge deutlich.

2. Die Selbständigkeit der Klarheit einer Vorstellung gegenüber der Stärke ihrer Empfindungselemente wird mit dem Grundversuch durch das Anschwellen der Klangvorstellung nach Unterbrechung des Nebentones bewiesen, indem dies selbst stattfindet, wenn die Stärke der Schwingungen der Gabelzinken in dauerndem Abnehmen begriffen ist.

3. Jeder Eindruck, wenn er Bewußtseinsinhalt ist, wenn er also die Intensitäts- oder Bewußtseinsschwelle überschritten hat (aber nicht die Klarheitsschwelle!) übt auf die Aufmerksamkeit eine Gefühlswirkung aus, an der sein Aufhören erkannt wird. Dieser Umstand machte sich innerhalb der Pausen geltend, die nach Unterbrechung des Begleittones auftraten.

4. Die Klarheit einer Vorstellung ist abhängig a) von der Stärke der Empfindungselemente, (die Pausen werden länger, wenn die Stimmgabel verklingt). b) von der Schärfe der Anpassung an die objektiven Reizverhältnisse. (Die Anpassung erfordert um so mehr Zeit, je größer der Unterschied zwischen der Intensität des abgebrochenen Begleittones und der des Stimmgabelklanges ist.)

5. Die ungewöhnliche Zunahme in der Länge der Pausen gegen Ende der Klangzeit der Stimmgabel, die in deutlichem

Gegensatz zu der dann nur sehr allmählich stattfindenden Abnahme der Reizintensität steht, bestätigt die Tatsache, daß unser Ohr am genauesten und bereitwilligsten auf Reize mittlerer Intensität reagiert.

6. Auch umgekehrt hat die Klarheit einer Vorstellung auf die Stärke der Eindrücke einen Einfluß. Durch das im Grundversuch nachgewiesene Maximum in der Tonempfindung gibt sich dieser Einfluß der Aufmerksamkeit in einer Steigerung des Stärkegrades der Empfindung zu erkennen. Die Empfindung scheint noch über die Stärke hinauszuschreiten, welche durch die peripherischen Nervenerregungen ausschließlich bedingt ist.

7. Das Vorhandensein einer Klarheitsschwelle in unseren Bewußtseinsvorgängen im Gegensatz zu der Bewußtseins- oder Intensitätsschwelle wird durch das plötzliche Auftreten des Stimmgabelklanges nach voraufgegangener Pause deutlich.

Bei der Zusammenfassnng der Ergebnisse des zweiten Teiles meiner Arbeit möchte ich vorerst darauf hinweisen, daß durch die Untersuchung der Hörbarkeitsdauerverlängerung einer Stimmgabel infolge längerer Einwirkung eines gleichzeitigen Nebentones ein neuer Weg betreten ist, die physiologischen Ermüdungszustände des Ohres zu erforschen. Im einzelnen führte der Verfolg dieser Erscheinung zu folgenden Resultaten:

1. der Hörnerv ist auch durch Reize mittlerer Intensität zu ermüden, und zwar äußert sich dies in einer Verschiebung der Intensitätsschwelle nach der Seite stärkerer Reize: ein abnehmender Stimmgabelklang verschwindet schon früher für das ermüdete Ohr.

2. Eine solche Ermüdung tritt immer nur für den Ton auf, durch den sie selbst hervorgerufen wurde, was als Beweis für die Selbständigkeit gelten kann, die jedem Tone in unserm Ohre eigen ist.

3. Durch zwei die Grundmembran gleichzeitig angreifende Schwingungen von verschiedener Frequenz werden sehr wahr-

scheinlich die Eigenfrequenzen ihrer schwingungsfähigen Teile gegenüber den normalen Verhältnissen, in denen nur ein Ton einwirkt, geändert. Dieser Einfluß kann nur sehr gering sein, da er sich nicht durch veränderte Tonhöhe bemerkbar machte, wohl aber an der Verlängerung der Hörbarkeitsdauer der Stimmgabel (gekoppelte Schwingungssysteme).

An dieser Stelle möchte ich

Herrn Professor Dr. F. Richarz

meinen besten Dank aussprechen für die freundliche Unterstützung bei der Ausführung meiner Arbeit.

Zu großem Danke bin ich auch

Herrn Professor Dr. F. A. Schulze

verpflichtet, der mir die Anregung zu dieser Arbeit gab und mich mit Rat und Tat bei der Untersuchung förderte.

Besonderen Dank schulde ich noch

Herrn Professor Dr. F. Schenck

für die freundliche Ueberlassung eines Versuchsraumes im physiologischen Institut der Universität und für sein der Arbeit entgegengebrachtes hohes Interesse.

Lebenslauf.

Ich, Johannes Nikolaus Emil Schäfer, wurde zu Elberfeld am 15. Mai 1875 als Sohn des Nikolaus Schäfer und seiner Ehefrau Julie, geb. Schäfer, geboren. Ich bin evangelischer Konfession und preußischer Staatsangehöriger. Nach dem Besuch einer Knabenmittelschule wurde ich auf der Präparandenanstalt meiner Heimatstadt und auf dem Königlichen Lehrerseminar zu Rheydt für meinen späteren Beruf als Volksschullehrer vorgebildet. In den Jahren 1895—1907 war ich als Lehrer in Solingen und Elberfeld tätig. Im Jahre 1905 bestand ich zu Koblenz die Mittelschullehrerprüfung in Englisch und Französisch. 1907 trat ich in die Oberprima der Oberrealschule zu Barmen-Wupperfeld ein, wo ich im März 1908 die Reifeprüfung bestand. Von Ostern 1908 bis Ostern 1909 studierte ich in Berlin Mathematik, Physik und Philosophie. Meine Lehrer waren dort die Prof. Frobenius, Rubens, Stumpf, Willamowitz-Möllendorf, Landau und Privatdozent Dr. Schur. Im Frühjahr 1909 bezog ich die Universität Marburg i. H., wo ich bis Ostern 1911 verblieb. Meine dortigen Lehrer in der Physik waren die Professoren W. Feußner, Fr. Richarz, F. A. Schulze, in Mathematik die Professoren v. Dalwigk, K. Hensel, E. Neumann und Privatdozent Dr. Hellinger, in Philosophie die Professoren H. Cohen, P. Natorp und H. Schwarz. Am 2. August 1911 bestand ich bei der Philosophischen Fakultät der Universität Marburg das Rigorosum. In der Zeit zwischen dem Rigorosum und der Promotion nahm ich meinen Aufenthalt in Elberfeld.